

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฅ
อักษรย่อ	ผ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ไฮโดรเจล	1
1.2 สมบัติของไฮโดรเจล	5
1.3 การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลในทางการแพทย์เพื่อเป็นวัสดุปิดแผล	8
1.3.1 วิวัฒนาการของไฮโดรเจลสังเคราะห์	8
1.3.2 การใช้ไฮโดรเจลกับแผลไหม้	9
1.3.3 ลักษณะและสมบัติของไฮโดรเจลที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผล	9
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไฮโดรเจล 2-อะคริลามิโด-2-เมทิลโพรเพน-ซัลโฟนิคแอซิด	10
1.5 การพอลิเมอไรเซชันของไฮโดรเจล	14
1.5.1 การสังเคราะห์ไฮโดรเจล	14
1.5.2 กลไกของการเกิดเจล	16
1.6 การับอกซีเมทิลเซลลูโลสและการับอกซีเมทิลไคโตซานและความสนใจของผู้ทำวิจัย	18
1.6.1 การับอกซีเมทิลเซลลูโลส	18
1.6.2 การับอกซีเมทิลไคโตซาน	21
1.7 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	25

บทที่ 2 วิธีการทดลอง	27
2.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ	27
2.1.1 สารเคมี	27
2.1.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือ	28
2.2 การเตรียมสารละลายมอนอเมอร์ AMPS- Na^+ สารละลายพอลิเมอร์เบนด์และการสังเคราะห์ไฮโดรเจล AMPS- Na^+ และไฮโดรเจลชนิดเบนด์	29
2.2.1 การเตรียมสารละลายมอนอเมอร์ AMPS- Na^+	29
2.2.2 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์เบนด์ของคาร์บอกซีเมทิล-ไคโตซาน และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	31
2.2.3 การสังเคราะห์ไฮโดรเจล AMPS- Na^+	31
2.2.3.1 การสังเคราะห์โดยใช้ความร้อน	32
2.2.3.2 การสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	32
2.2.3.3 การสังเคราะห์โดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต	33
2.2.4 การสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดเบนด์	36
2.3 การออกแบบแม่พิมพ์	37
2.3.1 การออกแบบแม่พิมพ์ของระบบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันแบบใช้ความร้อน ริดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต	37
2.3.2 การออกแบบแม่พิมพ์ชนิดรองรับการใส่ตาข่ายพลาสติก	38
2.4 การหาลักษณะเฉพาะเบื้องต้นของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้	39
2.4.1 ลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้	39
2.4.2 ความสามารถในการขยายตัวและดูดซับน้ำของไฮโดรเจลสังเคราะห์	39
2.5 การหาลักษณะเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับน้ำของแผ่นไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้	40
2.5.1 การหาปริมาณน้ำ และสัดส่วนการพองตัว	40

2.5.2	การหาปริมาณน้ำคงอยู่	40
2.5.3	การหาอัตราการผ่านของไอน้ำ	41
2.6	อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	42
2.7	เจลเพอร์มิเอชันโครมาโตกราฟี	43
2.8	การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน	43
2.8.1	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี	43
2.8.2	เทอร์โมกราวิเมตรี	46
2.9	การศึกษาสมบัติเชิงกล	46
2.10	การปลดเชื้อและการทดสอบความเป็นพิษของไฮโดรเจลตัวอย่าง	47
2.10.1	อุปกรณ์ และสารเคมี	47
2.10.2	วิธีการทดสอบด้วยวิธีสัมผัสโดยตรง	48
2.11	การออกแบบแผ่นไฮโดรเจลในลักษณะ multi-component	48
บทที่ 3	ผลการทดลอง	50
3.1	ลักษณะเฉพาะเบื้องต้นของแผ่นไฮโดรเจลสังเคราะห์	50
3.1.1	ลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฮโดรเจล	50
3.1.2	ความสามารถในการขยายตัวและดูดซับน้ำของไฮโดรเจลสังเคราะห์	59
3.2	การหาปริมาณน้ำองค์ประกอบ สัดส่วนการพองตัว และปริมาณน้ำคงอยู่	69
3.2.1	การหาปริมาณน้ำองค์ประกอบ และสัดส่วนการพองตัว	69
3.2.2	ปริมาณน้ำคงอยู่	83
3.3	อัตราการผ่านของไอน้ำ	89
3.4	อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	97
3.5	การวิเคราะห์ทางความร้อน	108
3.5.1	ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี	108
3.5.2	เทอร์โมกราวิเมตรี	112
3.6	เจลเพอร์มิเอชันโครมาโตกราฟี	118

3.7	การศึกษาสมบัติเชิงกล	120
3.8	การศึกษาจลนศาสตร์	121
3.9	การศึกษาความเป็นพิษของแผ่นไฮโดรเจลสังเคราะห์	127
3.9.1	การปลดปล่อยด้วยรังสีแกมมาและการบรรจุภัณฑ์	127
3.9.2	การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 ด้วยวิธีสัมผัสโดยตรง	128
3.10	การใส่ตาข่ายพลาสติกเพื่อเป็นโครงยึดและแผ่นปี	130
บทที่ 4	วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง	132
4.1	การสังเคราะห์ไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+)	132
4.1.1	ผลของระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไอโซไซยาเนตที่แตกต่างกัน	133
4.1.2	ผลของความเข้มข้นมอนอเมอร์และชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ที่แตกต่างกัน	133
4.2	การสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ระหว่าง poly(AMPS- Na^+) กับ CMC หรือ CMCTS	134
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำดูดซับ ปริมาณน้ำคงเหลือ และอัตราการผ่านของไอน้ำ	135
4.4	การศึกษาจลนศาสตร์	137
4.5	สมบัติเชิงกลของแผ่นไฮโดรเจลสังเคราะห์	138
4.6	การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ L929 ด้วยวิธีสัมผัสโดยตรง	139
	ข้อเสนอแนะสำหรับปรับปรุงงานวิจัย	140
	บรรณานุกรม	141
	ภาคผนวก	145
	ประวัติผู้เขียน	158

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ตัวอย่างไฮโดรเจลที่มักนำมาประยุกต์ใช้งาน	3
2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	27
2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	28
2.3 สัดส่วนของมอนอเมอร์ ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ และตัวริเริ่มสำหรับการสังเคราะห์แผ่นไฮโดรเจลในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน ไรดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต	34
2.4 สัดส่วนของมอนอเมอร์ ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ และตัวริเริ่มสำหรับการสังเคราะห์แผ่นไฮโดรเจลที่มีความเข้มข้นมอนอเมอร์ในช่วง 30-60% w/v	35
2.5 สัดส่วนของมอนอเมอร์ ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ และตัวริเริ่มสำหรับการสังเคราะห์แผ่นไฮโดรเจลที่มีปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ในช่วง 0.1-3.0% mole	35
2.6 สัดส่วนของมอนอเมอร์ ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ และตัวริเริ่มสำหรับการสังเคราะห์แผ่นไฮโดรเจลที่มีชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM และ NMBA	35
2.7 อัตราส่วนของมอนอเมอร์ AMPS- Na^+ ต่อ CMC ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดเบลนด์	36
2.8 อัตราส่วนของมอนอเมอร์ AMPS- Na^+ ต่อ CMCTS ที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิดเบลนด์	37
2.9 องค์ประกอบการเตรียมสารละลายมอนอเมอร์ที่มีความเข้มข้นของมอนอเมอร์แตกต่างกันในช่วง 30-60% w/v	45
2.10 องค์ประกอบการเตรียมสารละลายมอนอเมอร์ที่มีความเข้มข้นตัวเชื่อมต่อสายโซ่แตกต่างกันในช่วง 0.5-3.0% mole	46

ตาราง	หน้า
3.1 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole โดยมีระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแตกต่างกัน ได้แก่ ความร้อน รีดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต	50
3.2 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) ที่ใช้ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 30-60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	51
3.3 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM เพิ่มขึ้นในช่วง 0.1-3.0% mole ในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	52
3.4 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM และ NMBA 1.0% mole ในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	54
3.5 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMC (2.0% w/v) ที่อัตราส่วน 98.7:1.3, 96.2:3.8 และ 89.3:10.7% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	55
3.6 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMCTS (5.0% w/v) ที่อัตราส่วน 96.8:3.2, 90.9:9.1 และ 76.9:23.1% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	56
3.7 ขนาดของแผ่นไฮโดรเจลตัวอย่างเมื่อแห้งและเมื่ออิมมิดด้วยน้ำและค่าการคำนวณเปอร์เซ็นต์การขยายตัวตามพื้นที่และปริมาตร	60
3.8 ความสามารถในการดูดซับน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$	63
3.9 เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในแผ่นไฮโดรเจลหลังจากสังเคราะห์	67

ตาราง	หน้า
3.10 ค่าปริมาณน้ำร้อยละที่มีเป็นองค์ประกอบที่สมดุลของแผ่นไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$	81
3.11 ค่าสัดส่วนการพองตัวของแผ่นไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$	81
3.12 แสดงอัตราการผ่านของไอน้ำในผิวหนังปกติและแผลไหม้ที่ระดับต่างๆ	95
3.13 ความชื้นและอัตราการผ่านของไอน้ำของไฮโดรเจลตัวอย่างที่สังเคราะห์ขึ้นได้โดยวิธีอเทอร์คัพ ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5 \%$	96
3.14 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของมอนอเมอร์ AMPS- H^+	98
3.15 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต	100
3.16 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของเอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์	101
3.17 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	103
3.18 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บอกซีเมทิลโคโตซาน	104
3.19 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+)	105
3.20 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจลชนิดเบลนค์ระหว่าง AMPS- Na^+ กับ CMC	106
3.21 การแปรผลอินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจลชนิดเบลนค์ระหว่าง AMPS- Na^+ กับ CMCTS	107
3.22 น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลโคโตซานวิเคราะห์โดยเทคนิค GPC	119
3.23 ค่าความเค้น เปอร์เซ็นต์การยืด และค่ามอดูลัสของยังของไฮโดรเจลสังเคราะห์	121

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	โครงสร้างของไฮโดรเจลประเภทต่างๆ แบ่งตามลักษณะการสังเคราะห์	4
1.2	การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัวโดยมีการแพร่ผ่านโมเลกุลน้ำเข้าไปภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล	7
1.3	อันตรกิริยาของโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างไฮโดรเจล	7
1.4	โครงสร้างทางเคมีของมอนอเมอร์ AMPS	11
1.5	โครงสร้างทางเคมีของตัวเชื่อมต่อสายโซ่ (ก) <i>N,N'</i> -methylene-bis-acrylamide, NMBA และ (ข) ethyleneglycol dimethacrylate, EGDM	15
1.6	ลำดับขั้นตอนของการเกิด gelation	17
1.7	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	18
1.8	โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส	19
1.9	โครงสร้างทางเคมีของ (ก) ไคติน และ (ข) ไคโตซาน	21
1.10	โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลไคติน-ไคโตซาน	22
2.1	อุปกรณ์สำหรับการเตรียมสารละลาย AMPS- Na^+ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบสด้วยพีเอช มิเตอร์	30
2.2	อุปกรณ์การสังเคราะห์ไฮโดรเจลในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	34
2.3	องค์ประกอบของแม่พิมพ์ที่รองรับการสังเคราะห์ไฮโดรเจลในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน และรีดอกซ์	38
2.4	แม่พิมพ์ที่รองรับการสังเคราะห์ไฮโดรเจลในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	38
2.5	แม่พิมพ์แผ่นไฮโดรเจลที่รองรับการสังเคราะห์แบบใส่ตาข่ายพลาสติก	39
2.6	รูปจำลองถ้วยอะลูมิเนียมที่ใช้ในการหาอัตราการผ่านของไอน้ำ	42
2.7	รูปจำลององค์ประกอบแผ่นไฮโดรเจลแบบ multi-component	49

รูป	หน้า
3.1 แผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (ก) ความร้อน (ข) รีดอกซ์ และ (ค) แสงอัลตราไวโอเลต	51
3.2 แผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) ที่ใช้ความเข้มข้น (ก) 30% w/v (ข) 40% w/v (ค) 50% w/v และ (ง) 60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	52
3.3 แผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM (ก) 0.1% mole (ข) 0.5% mole (ค) 1.0% mole (ง) 2.0% mole และ (จ) 3.0% mole ในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	53
3.4 แผ่นไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ (ก) EGDM และ (ข) NMBA 1.0% mole ในระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	54
3.5 แผ่นไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMC (2.0% w/v) ที่อัตราส่วน (ก) 98.7:1.3 และ (ข) 96.2:3.8% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	55
3.6 แผ่นไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMCTS (5.0% w/v) ที่อัตราส่วน (ก) 96.8:3.2 และ (ข) 90.9:9.1% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	56
3.7 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแตกต่างกัน ได้แก่ ความร้อน รีดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต	70

รูป		หน้า
3.8	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ที่ใช้ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 30-60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	71
3.9	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM แตกต่างกันในช่วง 0.1-3.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	72
3.10	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ โดยใช้ชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM และ NMBA 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	73
3.11	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMC (2.0% w/v) ที่อัตราส่วน 98.7:1.3 และ 96.2:3.8% wt ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	74
3.12	(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMCTS (5.0% w/v) ที่อัตราส่วน 96.8:3.2 และ 90.9:9.1% wt ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	75

รูป	หน้า
3.13 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของไฮโดรเจลชนิด poly(AMPS- Na^+) 50% w/v ในสารละลายที่แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายเกลือ และซีรัม ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	76
3.14 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณองค์ประกอบน้ำ และ (ข) สัดส่วนการพองตัวกับเวลาของวัสดุปิดแผลทางการค้า ได้แก่ Spenco [®] Allevin [®] และ Algoplaque [®] ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$	77
3.15 กราฟแสดงปริมาณองค์ประกอบน้ำ (%) ของไฮโดรเจลสังเคราะห์	82
3.16 กราฟแสดงสัดส่วนการพองตัว ($\text{g H}_2\text{O/g polymer}$) ของไฮโดรเจลสังเคราะห์	82
3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลาของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความร้อน รีดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5 \%$	83
3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลา ของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) ที่ใช้ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 30-60 % w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5 \%$	84
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลา ของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM แตกต่างกันในช่วง 0.1-3.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5 \%$	85

3.20	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลา ของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM และ NMBA 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	87
3.21	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลา ของไฮโดรเจล ชนิดเบลนดระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMC (2.0% w/v) ที่อัตราส่วน 98.7:1.3 และ 96.2:3.8% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	88
3.22	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลาของไฮโดรเจล ชนิดเบลนดระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMCTS (5.0% w/v) ที่อัตราส่วน 96.8:3.2 และ 90.9:9.1% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	89
3.23	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่หายไปกับเวลา ของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแตกต่างกัน ได้แก่ ความร้อน รีดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต โดยวิธีวอเตอร์คัพ ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	90
3.24	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่หายไปกับเวลา ของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) ที่ใช้ความเข้มข้นแตกต่างในช่วง 30-60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต โดยวิธีวอเตอร์คัพ ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	91

รูป		หน้า
3.25	ความสัมพัทธ์ระหว่างน้ำหนักที่หายไปกับเวลา ของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM แตกต่างกันในช่วง 0.1-2.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต โดยวิธีวอเตอร์คัพ ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	92
3.26	ความสัมพัทธ์ระหว่างน้ำหนักที่หายไปกับเวลา ของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM และ NMBA 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต โดยวิธีวอเตอร์คัพ ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	93
3.27	ความสัมพัทธ์ระหว่างน้ำหนักที่หายไปกับเวลา ของไฮโดรเจลชนิดเบลนดระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMC (2.0% w/v) ที่อัตราส่วน 98.7:1.3 และ 96.2:3.8% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต โดยวิธีวอเตอร์คัพ ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	94
3.28	ความสัมพัทธ์ระหว่างน้ำหนักที่หายไปกับเวลา ของไฮโดรเจลชนิดเบลนดระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMCTS (5.0% w/v) ที่อัตราส่วน 96.8:3.2 และ 90.9:9.1% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต โดยวิธีวอเตอร์คัพ ที่อุณหภูมิ $35.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $55 \pm 5\%$	95
3.29	อินฟราเรดสเปกตรัมของมอนอเมอร์ AMPS- H^+	97
3.30	อินฟราเรดสเปกตรัมของมอนอเมอร์ AMPS- H^+	97
3.31	อินฟราเรดสเปกตรัมของเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต	99
3.32	อินฟราเรดสเปกตรัมของเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต	99

รูป	หน้า
3.33 อินฟราเรดสเปกตรัมของ เอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์	100
3.34 อินฟราเรดสเปกตรัมของเอ็น,เอ็น'-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์	101
3.35 อินฟราเรดสเปกตรัมของการ์บอักษิเมทิลเซลลูโลส	102
3.36 อินฟราเรดสเปกตรัมของการ์บอักษิเมทิลเซลลูโลส	102
3.37 อินฟราเรดสเปกตรัมของการ์บอักษิเมทิลไคโตซาน	103
3.38 อินฟราเรดสเปกตรัมของการ์บอักษิเมทิลไคโตซาน	104
3.39 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+)	105
3.40 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจลชนิดเบลนดระหว่าง AMPS- Na^+ กับ CMC	106
3.41 ตัวอย่างอินฟราเรดสเปกตรัมของไฮโดรเจลชนิดเบลนดระหว่าง AMPS- Na^+ กับ CMCTS	107
3.42 DSC เทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลตัวอย่าง poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแตกต่างกัน ได้แก่ ความร้อน รีดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต	109
3.43 DSC เทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลตัวอย่าง poly(AMPS- Na^+) ที่ใช้ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 30-60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	109
3.44 DSC เทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลตัวอย่าง poly(AMPS- Na^+) 50% w/v ที่ใช้ปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM แตกต่างกันในช่วง 0.1-3.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	110
3.45 DSC เทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลตัวอย่าง poly(AMPS- Na^+) 50% w/v ที่ใช้ชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM และ NMBA 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	110

รูป		หน้า
3.46	DSC เทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลชนิดเบลนค้ระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMC (2.0% w/v) ที่อัตราส่วน 98.7:1.3, 96.2:3.8 และ 89.3:10.7% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	111
3.47	DSC เทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลชนิดเบลนค้ระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMCTS (5.0% w/v) ที่อัตราส่วน 96.8:3.2, 90.9:9.1 และ 76.9:23.1% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	111
3.48	เทอร์โมกราวิเมตรีเทอร์โมแกรมของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแตกต่างกัน ได้แก่ ความร้อน รีดอกซ์ และแสงอัลตราไวโอเลต	113
3.49	เทอร์โมกราวิเมตรีเทอร์โมแกรมของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) ที่ใช้ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 30-60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	113
3.50	เทอร์โมกราวิเมตรีเทอร์โมแกรมของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) 50% w/v โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM แตกต่างกันในช่วง 0.1-3.0% mole ที่ใช้ริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	114
3.51	เทอร์โมกราวิเมตรีเทอร์โมแกรมของไฮโดรเจล poly(AMPS- Na^+) โดยใช้ชนิดตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM และ NMBA 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	114
3.52	เทอร์โมกราวิเมตรีเทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลชนิดเบลนค้ระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMC (2.0% w/v) ที่อัตราส่วน 98.7:1.3, 90.2:3.8 และ 89.3:10.3% wt โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	115

รูป	หน้า	
3.53	เทอร์โมกราวิเมตรีเทอร์โมแกรมของไฮโดรเจลชนิดเบลนด์ที่ระหว่าง AMPS- Na^+ (50% w/v) กับ CMCTS (5.0% w/v) ที่อัตราส่วน 96.8:3.2, 90.9:9.1 และ 76.9:23.1% wt โดยใช้ตัวเชื่อมตอสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบแสงอัลตราไวโอเลต	115
3.54	เทอร์โมกราวิเมตรีเทอร์โมแกรมเปรียบเทียบระหว่าง CMC และ CMCTS	116
3.55	โครมาโทแกรม GPC ของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	118
3.56	โครมาโทแกรม GPC ของคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน	119
3.57	เส้นกราฟความเค้น และเปอร์เซ็นต์การยืด ของไฮโดรเจลตัวอย่าง	120
3.58	เปรียบเทียบอัตราการพอลิเมอไรเซชันของสารละลายมอนอเมอร์ (AMPS- Na^+) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 30-60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมตอสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน	122
3.59	เปรียบเทียบอัตราการพอลิเมอไรเซชันของสารละลายมอนอเมอร์ (AMPS- Na^+ 40% w/v) โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมตอสายโซ่ EGDM ที่แตกต่างกันในช่วง 0.5-3.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน	123
3.60	เปรียบเทียบอัตราการพอลิเมอไรเซชันของสารละลายมอนอเมอร์ (AMPS- Na^+ 40% w/v) โดยใช้ตัวเชื่อมตอสายโซ่ NMBA และ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน	124
3.61	เปรียบเทียบการดำเนินไปของปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันของสารละลายมอนอเมอร์ (AMPS- Na^+) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันในช่วง 30-60% w/v โดยใช้ตัวเชื่อมตอสายโซ่ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน	125
3.62	เปรียบเทียบการดำเนินไปของปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันของสารละลายมอนอเมอร์ (AMPS- Na^+ 40% w/v) โดยใช้ปริมาณตัวเชื่อมตอสายโซ่ EGDM แตกต่างกันในช่วง 0.5-3.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน	126

รูป	หน้า	
3.63	เปรียบเทียบการดำเนินไปของปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันของสารละลายมอนอเมอร์ (AMPS- Na^+ 40% w/v) โดยใช้ตัวเชื่อมต่อสายโซ่ NMBA และ EGDM 1.0% mole ที่ใช้ระบบริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบความร้อน	126
3.64	การบรรจุภัณฑ์ไฮโดรเจลตัวอย่างด้วยแผ่นอะลูมิเนียมหลังจากทำการปลดเชื้อด้วยรังสีแกมมา	127
3.65	แสดงลักษณะรูปร่างและการติดสี neutral red ของเซลล์ L929 หลังจากสัมผัสกับไฮโดรเจลตัวอย่างลำดับที่ 1-4 และ (5) ตัวควบคุมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (negative control) และ (6) ขางธรรมชาติ (positive control) เป็นเวลา 48 ชั่วโมงที่กำลังขยายเดิม 300 เท่า	129
3.66	การใส่ตาข่ายพลาสติกในไฮโดรเจลตัวอย่าง poly(AMPS- Na^+) ชนิดตาข่าย (ก) ห่าง และ (ข) ถี่	130
3.67	การใส่ตาข่ายพลาสติกชนิดห่างในไฮโดรเจลตัวอย่างเบลดทั้งสองชนิดระหว่าง AMPS- Na^+ กับ (ก) CMC หรือ (ข) CMCTS	130
3.68	การใส่แผ่นปิด (ก) ชนิดใยฝ้าย และ (ข) ชนิดแผ่นฟิล์มพอลิยูรีเทนในไฮโดรเจลตัวอย่าง poly(AMPS- Na^+)	131

อักษรย่อ

อักษรย่อ	ชื่อเต็ม
AMPS	2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid
AMPS- Na^+	sodium salt 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid
poly(AMPS- Na^+)	poly(sodium salt 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid)
NMBA	<i>N,N'</i> -methylene-bis-acrylamide
EGDM	ethyleneglycol dimethacrylate
CMC	carboxymethyl cellulose
CMCTS	carboxymethyl chitosan
IPN	interpenetrating polymer network
semi-IPN	semi-interpenetrating polymer network
WC	water content
EWC	equilibrium water content
SR	swelling ratio
WR	water retention
EWR	equilibrium water retention
WVTR	water vapour transmission rate
IR	infrared spectroscopy
DSC	differential scanning calorimetry
TG	thermalgravimetry
GPC	gel permeation chromatography
$\overline{M}_n$	number average molecular
$\overline{M}_w$	molecular weight distribution
$\overline{M}_c$	number average molecular weight between crosslinks
ASTM	the american society for testing and materials
$^{\circ}\text{C}$	degree celcius

อักษรย่อ

ชื่อเต็ม

g

gram

mg

milligram

mL

milliliter

mm

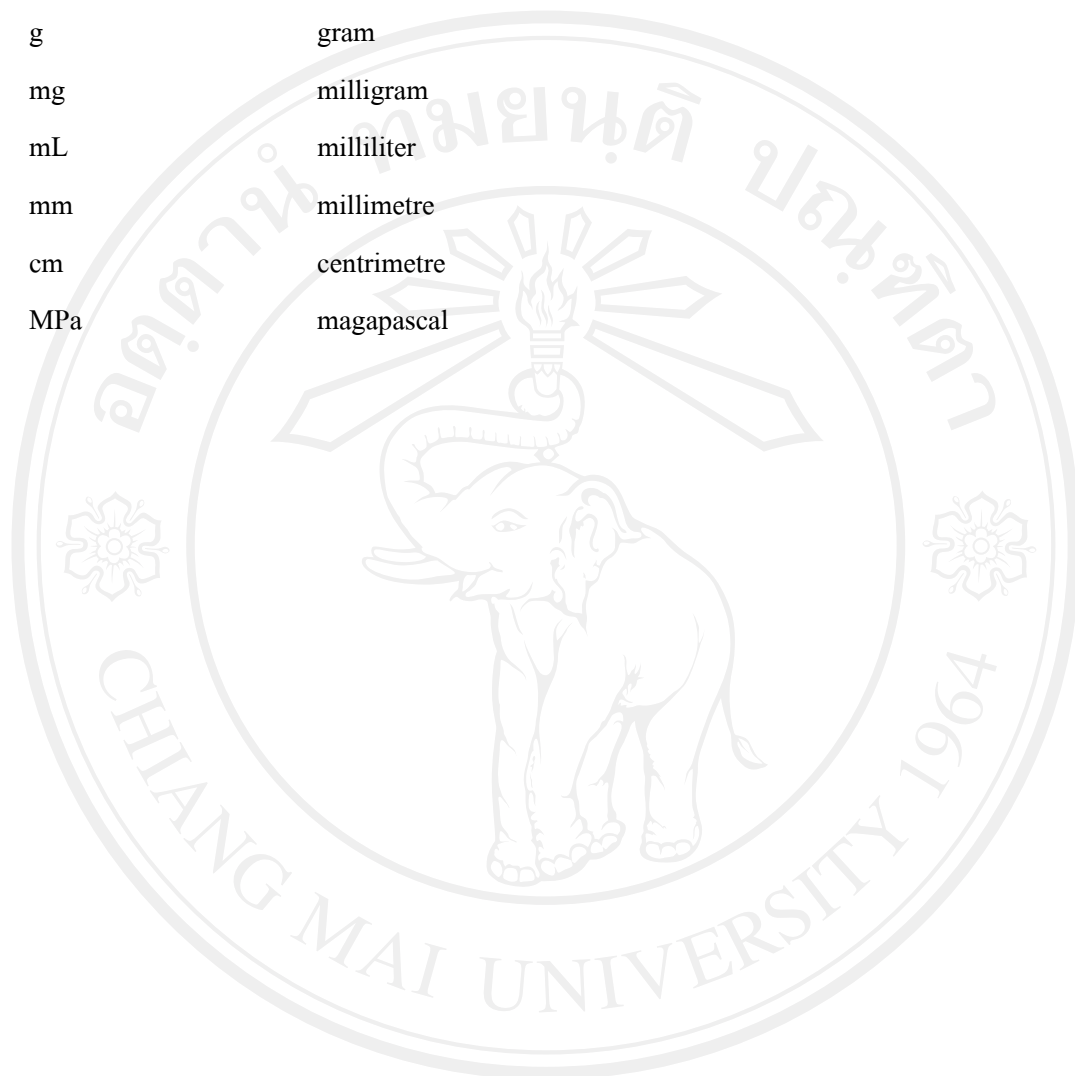
millimetre

cm

centrimetre

MPa

magapascal



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved