



โครงการวิจัยที่ ภ.56-07/ย.7/รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การพัฒนาแผ่นเจลคอมโพสิต กันแผลกดทับ



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ.56-07

การพัฒนาวัสดุและอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อส่งเสริมสุขภาพะกลุ่มผู้สูงอายุ

โครงการย่อยที่ 7

การพัฒนาแผ่นเจลคอมโพสิทกั้นแผลกดทับ

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การพัฒนาแผ่นเจลคอมโพสิทกั้นแผลกดทับ

โดย

อาริสา ใจอยู่

คณิงนุช แก้วทรัพย์ศักดิ์

เจต ภาณิชภักดี

จุฬาลักษณ์ พันธุ์น้อย

ภาสกร สิบประสิทธิ์

ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต

บรรณาธิการ

อลิสรา คูประสิทธิ์

บุญเรียม น้อยชุมแพ

สลิลดา พัฒนศิริ

วว., ปทุมธานี 2563

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต

(นางชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต)

ผู้ว่าการ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการพัฒนาแผ่นเจลคอมโพสิทกั้นแผลกดทับสามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีได้เนื่องจากได้รับความร่วมมือในการทำงานของพนักงานและลูกจ้างในฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ. นอกจากนี้ ยังได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จึงขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำงานต่างๆ.

ขอขอบคุณท่านผู้ว่าการและผู้บริหารทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนโครงการรวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	18
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์	29
4. สรุปผลการวิจัย	58
5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	60
6. ข้อเสนอแนะ	61
7. เอกสารอ้างอิง	64

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	ส่วนผสมในการเตรียมไฮโดรเจลจาก PVA 22
ตารางที่ 2.2	ส่วนผสมในการเตรียมไฮโดรเจลจากกรดอะคริลิก 23
ตารางที่ 2.3	ส่วนผสมในการเตรียมไฮโดรเจลจากกรดโซเดียมอะคริเลต 25
ตารางที่ 3.1	ผลการทดสอบความแข็งกดความแข็งกดของไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 34
ตารางที่ 3.2	ผลการทดสอบความสามารถการคืนตัวของไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 35
ตารางที่ 3.3	สัดส่วนสารเคมีที่ทำการเตรียมวัสดุเจลและค่าความต้านทานแรงกดของวัสดุเจล 40
ตารางที่ 3.4	ลักษณะไฮโดรเจลจาก AA ที่เตรียมได้ 43
ตารางที่ 3.5	ลักษณะไฮโดรเจลจาก NaAA 44
ตารางที่ 3.6	ผลการทดสอบความแข็งแรงกด (compressive strength) และความสามารถการคืนตัว 45
ตารางที่ 3.7	ผลการศึกษาการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังการสังเคราะห์ 46
ตารางที่ 3.8	ผลการศึกษาการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังอบ 46
ตารางที่ 3.9	ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล 47
ตารางที่ 3.10	น้ำหนักของแผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม Zip bag หรือ PE-PVC เป็นเวลา 34 วัน 56
ตารางที่ 4.1	คุณลักษณะและสมบัติของไฮโดรเจล PVA 58
ตารางที่ 4.2	คุณลักษณะและสมบัติของโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล 59
ตารางที่ 5.1	กลุ่มเป้าหมาย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ รูปแบบการนำไปใช้ประโยชน์ ผลลัพธ์และผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น 60

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	จุดรับน้ำหนักของร่างกาย	7
รูปที่ 1.2	ระดับของแผลกดทับ	9
รูปที่ 1.3	ลักษณะวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดแรงกดป้องกันการเกิดแผลกดทับที่มีจำหน่าย	10
รูปที่ 1.4	ตัวอย่างไฮโดรเจลชนิดฟิล์มที่ถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับดวงตา	11
รูปที่ 1.5	แสดงกลไกการเตรียม Surface grafted polymer	11
รูปที่ 1.6	กลไกการเกิดปฏิกิริยา Cross-Linking	12
รูปที่ 1.7	ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิด IPN ของ NNMBA และ PVA	13
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการเตรียมสารไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้ ฟอर्मัลดีไฮด์ เป็น crosslink agent	20
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนการเตรียมสารไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้ กลูตารัลดีไฮด์ เป็น crosslink agent	21
รูปที่ 2.3	ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรเจลจากสารละลาย AA	24
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรเจลจาก sodium acrylate	25
รูปที่ 2.5	เครื่อง Universal Testing ยี่ห้อ Instron รุ่น 4469	26
รูปที่ 2.6	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer	27
รูปที่ 3.1	การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ก) MW 15,000 ข) MW 130,000 ค) MW 205,000	29
รูปที่ 3.2	ผลของปริมาณฟอर्मัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเกิดไฮโดรเจล PVA ก.3 กรัม ข. 5 กรัม ค. 7 กรัม	30
รูปที่ 3.3	ผลของปริมาณ กลูตารัลดีไฮด์ ต่อการเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ก.0.4 มิลลิลิตร ข.0.8 มิลลิลิตร ค. 1.0 มิลลิลิตร ง. 3 มิลลิลิตร	31
รูปที่ 3.4	ผลของปริมาณ HCl ต่อ การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ก) HCl 0.5 มิลลิลิตร ข) HCl 1 มิลลิลิตร ค) HCl 2 มิลลิลิตร	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.5	ผลการ up scale การเตรียมไฮโดรเจล PVA ก. พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซนต์ เป็น Crosslink agent ข. กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Crosslink agent	33
รูปที่ 3.6	ผลการบวมตัวหลังการอบที่ 50 องศาเซลเซียส ของไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Crosslink agent	35
รูปที่ 3.7	ผลการบวมตัวหลังการสังเคราะห์ของไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Crosslink agent	36
รูปที่ 3.8	การทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรองกันแผลกตักจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซนต์ เป็น Crosslink agent ด้วยฟิล์มต่างๆ	37
รูปที่ 3.9	การทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรองกันแผลกตักจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซนต์ เป็น Crosslink agent ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ	37
รูปที่ 3.10	ผลการทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรองกันแผลกตักจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซนต์ เป็น Crosslink agent ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ	38
รูปที่ 3.11	ผลการทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรองกันแผลกตักจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Crosslink agent ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ	38
รูปที่ 3.12	ลักษณะโครงสร้างทางเคมี 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS)	39
รูปที่ 3.13	ภาพแนวโน้มผลของปริมาตรรวมของสารละลายที่นำมาขึ้นรูปวัสดุเจลต่อค่าความต้านทานแรงกดของวัสดุเจล	40
รูปที่ 3.14	ภาพแนวโน้มผลของปริมาตรรวมของสารละลายที่นำมาขึ้นรูปวัสดุเจลต่อค่าความต้านทานแรงกดของวัสดุเจล	41
รูปที่ 3.15	ภาพสารละลายที่เปลี่ยนรูปเป็นเจล	42
รูปที่ 3.16	ลักษณะไฮโดรเจล ก. Gel-AA1 ข. Gel-AA11	43
รูปที่ 3.17	ลักษณะไฮโดรเจลที่เตรียมได้จาก NaAA	44

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.18	46
ลักษณะเจล ก. หลังจากรังสีแกมมา ๒. หลังจากรอบ ค. หลังจากรอแช่เย็น	
รูปที่ 3.19	47
FTIR สเปกตรัมของโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล	
รูปที่ 3.20	48
ก. การขึ้นรูปเจลในโมลด์พลาสติก ข. เจลหลังจากนำออกจากโมลด์	
รูปที่ 3.21	49
FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้ในการซีลไฮโดรเจล	
รูปที่ 3.22	53
น้ำหนักที่หายไปของไฮโดรเจลเมื่อหุ้มด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ	
รูปที่ 3.23	53
ลักษณะของเจลหลังจากรังสีแกมมาด้วยฟิล์มเป็นเวลา 30 วัน ก. ไฮโดรเจลหุ้ม ด้วยฟิล์ม PVC ข. ไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม PU-บาง	
รูปที่ 3.24	54
น้ำหนักที่หายไปของไฮโดรเจลเมื่อหุ้มด้วยฟิล์ม 2 ชั้น	
รูปที่ 3.25	55
ลักษณะของ ก. แผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม Zip bag ข. แผ่นไฮโดรเจลที่ หุ้มด้วยฟิล์ม PE ค. แผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม PE-PVC	
รูปที่ 3.26	57
ลักษณะของที่นอนไฮโดรเจลกันแผลกดทับ	

DEVELOPMENT OF GEL COMPOSITE CUSHION FOR PRESSURE SORES

Arisa jaiyu, Julaluk Phunnoi, Kanungnuch Keawsupsak, Jate Panichpakdee,
Passakorn Sueprasit and Chutima Eamchotchawalit

ABSTRACT

Pressure sores are an injury that breaks down the skin and underlying tissue resulting from prolonged pressure on the skin. Pressure sores most often develop on skin that covers bony areas of the body, such as the heels, ankles, hips and tailbone. The extra pressure disrupts the flow of blood through the skin. Without a blood supply, the affected skin becomes starved of oxygen and nutrients, and begins to break down, leading to an ulcer forming. People most at risk of bedsores are those with a medical condition that limits their ability to change positions, requires them to use a wheelchair or confines them to a bed for a long time. For some people, pressure ulcers are inconveniences that require minor nursing care. For others, they can be serious and lead to life-threatening complications, such as blood poisoning or gangrene. A range of techniques is used to prevent them developing in the first place. These include regularly changing a person's position and using equipment to protect vulnerable parts of the body such as specially designed mattresses and cushions.

In this project, Polysodium acrylate and Polyvinyl alcohol gel pad have been developed. They have properties which make it useful as a support pad in the prevention and treatment of pressure sore. The polysodium acrylate gel is made by cross-linked polymerization of sodium acrylate, ammonium persulfate (APS), N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine (TEMED), N-methylene-bis-acrylamide (BIS). Another gel developed in this project is polyvinyl alcohol gel. It is made by cross-linked high molecular weight polyvinyl alcohol using cross-linking agent such as formaldehyde. The support gel pad is completed by putting a thin film envelope such as polyethylene and polyvinyl chloride around the gel.

การพัฒนาแผ่นเจลคอมโพสิทก์ันแผลกดทับ

อาริสรา ใจอยู่¹, จุฬาลักษณ์ พันธน้อย¹, คณินนุช แก้วทรัพย์ศักดิ์¹, เจต พานิชภักดิ์¹,
ภาสกร สืบประสิทธิ์¹ และ ชุตินา เอี่ยมโชติชวลิต²

บทคัดย่อ

แผลกดทับเป็นอาการบาดเจ็บที่เกิดจากบาดแผลบนผิวหนังและเนื้อเยื่อภายใต้จากการที่มีแรงดันเกิดขึ้นบนผิวหนังเป็นระยะเวลาานาน แผลกดทับมันจะเกิดขึ้นบนผิวที่บริเวณกระดูกเช่น เข่า ศอก สะโพก ก้นกบ ความดันที่มากจะรบกวนการไหลเวียนของเลือดผ่านผิวหนัง เมื่อเลือดไม่มาเลี้ยงจะส่งผลให้ผิวหนังขาดออกซิเจนและสารอาหาร และเริ่มที่จะเป็นแผลและเป็นหนองเกิดขึ้น คนที่มีความเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับคือคนป่วยที่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหว ที่ต้องใช้รถนอนติดเตียงเป็นเวลานาน สำหรับบางคนแผลกดทับอาจจะทำให้แค้นรู้สึไม่สะดวกสบายและต้องการการรักษาเพียงเล็กน้อย แต่แผลกดทับสามารถเป็นปัญหาใหญ่และอาจทำให้เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตเนื่องจากการติดเชื้อในกระแสเลือดหรือแผลเรื้อรัง มีเทคนิคที่สามารถป้องกันการเกิดแผลกดทับก่อนที่จะเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนท่าให้กับผู้ป่วยหรือใช้เครื่องมือพิเศษในการป้องกันร่างกายเช่นที่นอนหรือเบาะนอนที่มีการออกแบบเป็นพิเศษ.

ในโครงการวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาพอลิโซเดียมอะคริเลตเจลและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เจล ที่มีคุณสมบัติที่ใช้เป็นแผ่นซัพพอร์ตเพื่อป้องกันและรักษาการเกิดแผลกดทับ เจลพอลิโซเดียมอะคริเลตผลิตโดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบเชื่อมขวางของโซเดียมอะคริเลต, แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (เอพีเอส), เอ็น,เอ็น, เอ็น, เอ็น เตตระเมทิลีนไดเอมีน (ทีเม็ด), เอ็น เมทิลีนบิสเอซิลเอไมด์ (บิส) เจลอีกแบบคือพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เจล ผลิตโดยการเชื่อมขวางพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลสูงและใช้ตัวเชื่อมขวางเช่นพอลิไดไฮด์ หลังจากนั้นนำแผ่นฟิล์มบางเช่น พอลิเอทิลีนและพอลิไวนิลคลอไรด์มาหุ้มเจลจะได้ซัพพอร์ตเจลที่เสร็จสมบูรณ์.

¹ฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

แผลกดทับเป็นภาวะที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยที่ไม่สามารถขยับตัวได้เป็นเวลานาน เช่น ผู้ป่วย อัมพฤกษ์ อัมพาตหรือผู้ป่วยที่ต้องดมยาสลบและผ่าตัดเป็นเวลานานเกิน 2 ชั่วโมง เช่น การผ่าตัดสมอง การผ่าตัดในช่องปอด การผ่าตัดกระดูกสันหลัง เป็นต้น หรือคนที่อยู่กับที่นิ่งๆ นานๆ ไม่ค่อยได้เคลื่อนไหว โดยเฉพาะในผู้สูงอายุมากๆ ที่เคลื่อนไหวยาก บางคนคิดว่าการเกิดแผลกดทับจะเกิดเฉพาะกับคนที่มีน้ำหนักตัวมากๆ เท่านั้น แต่จริงๆ แล้วไม่จำเป็นต้องเกิดจากแรงกดมากมาย เพียงแต่การนอนแช่ในท่าหนึ่งท่าใดนานๆ ก็เกิดได้แล้ว หรือคนที่นั่งนิ่งๆ อยู่กับเก้าอี้ทั้งวันไม่ค่อยเปลี่ยนอิริยาบถ ทำให้เกิดแรงกดทับกับเนื้อเยื่ออ่อนๆ บริเวณก้นหรือสะโพก ซึ่งอาจทำให้เกิดเป็นแผลพุพอง, เนื้อเยื่อหลุดลอกออกมาได้ บริเวณที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผลกดทับ ได้แก่ ก้น, ส้นเท้า, ศีรษะ, และหน้า โดยความรุนแรงของการเกิดแผลกดทับนั้นเริ่มจากการบวมแดง ซึ่งเกิดจากการคั่งของเลือดจนไปถึงการเกิดแผลลึกถึงชั้นกล้ามเนื้อและกระดูก, การป้องกันการเกิดแผลกดทับเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากการเกิดแผลกดทับเป็นเหมือนการซ้ำเติมความทุกข์ทรมานของผู้ป่วยซึ่งการรักษาให้หายทำได้ยากมาก, การป้องกันการเกิดแผลกดทับที่ดีนั้น ควรมีการพลิกตัวเปลี่ยนท่าผู้ป่วยบ่อยๆ ใช้เตียงหรือเบาะรองนอนที่อ่อนนุ่มที่ช่วยลดแรงกด การใช้แผ่นรองก้นแผลกดทับในรูปแบบของเจลรองบริเวณที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผลกดทับนั้นก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถช่วยลดภาวะเสี่ยงที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งส่วนใหญ่ยังมีการนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง.

นอกจากนี้จากการศึกษาแผนกที่นำทางของชาติในกลุ่มการแพทย์และสุขภาพ พบว่าขนาดตลาดของอุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์และสุขภาพมีการนำเข้าในแต่ละปี ประมาณ 3 หมื่นล้านบาท และมีอัตราการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นในระดับสูงทุกๆ ปี คือ ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ซึ่งอุตสาหกรรมภายในประเทศถือว่ายังมีการทำผลิตภัณฑ์เครื่องมือแพทย์และสุขภาพยังน้อยอยู่มาก ยิ่งไปกว่านั้นประเทศไทยก้าวเข้าสู่สังคมสูงอายุตั้งแต่ปี 2547 โดยคาดว่าจะเป็นสังคมสูงอายุอย่างเต็มตัวใน ปี 2568 ซึ่งจะมีผู้ป่วยและผู้สูงอายุที่ไม่สามารถดูแลตัวเองได้เพิ่มขึ้นมาก ดังนั้นอุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์และสุขภาพ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับผู้สูงอายุจึงมีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตได้ดีมาก และน่าจะมีการตอบสนองแทนจากการลงทุนอยู่ในระดับสูง.

หมายเหตุ : โครงการวิจัยฉบับนี้ได้ปรับเปลี่ยนคำศัพท์ เนื้อหา ตรวจสอบความถูกต้อง โดยอ้างอิงเกณฑ์ตามราชบัณฑิตยสภา ดังเช่น คำว่า คอมโพสิท เปลี่ยนเป็นคอมโพสิต และยังคงชื่อโครงการไว้ดังเดิม คือ พัฒนาแผ่นเจลคอมโพสิทก้นแผลกดทับ

ดังนั้น วว. โดยศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมวัสดุ จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาแผ่นเจลกันแผลกดทับ เพื่อลดการนำเข้าสินค้าทางการแพทย์จากต่างประเทศและสามารถผลิตแผ่นเจลที่มีราคาถูกลง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นเจลกันแผลกดทับภายในประเทศต่อไป อีกทั้งยังทำให้ผู้ป่วยสามารถเข้าถึงวัสดุที่ใช้ทางการแพทย์ได้อย่างทั่วถึงมากยิ่งขึ้น.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาแผ่นเจลพอลิเมอร์สำหรับรองรับผู้ป่วยและคนชราป้องกันการเกิดแผลกดทับ.

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 พัฒนาระบบการสังเคราะห์เจลจากปฏิกิริยาเชื่อมขวางของพอลิเมอร์.
- 1.3.2 พัฒนาการมววิธีการขึ้นรูปแผ่นเจลสำหรับป้องกันการเกิดแผลกดทับ.
- 1.3.3 ผลิตแผ่นเจลกันแผลกดทับต้นแบบและทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบแผ่นเจลกันแผลกดทับ.
- 1.4.2 ลดการนำเข้าวัสดุทางการแพทย์.
- 1.4.3 ส่งเสริมการสร้างผู้ประกอบการ SME ด้านการผลิตวัสดุทางการแพทย์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ.
- 1.4.4 ประชาชนสามารถเข้าถึงวัสดุทางการแพทย์ได้ทั่วถึงและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น.
- 1.4.5 สร้างองค์ความรู้ให้กับนักวิจัยเพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดสู่ระดับอุตสาหกรรม.

1.5 ทฤษฎี

จากการประชุมของ The National Pressure Ulcer Advisory Panel (NPUAP 1989) ได้ให้คำนิยามความหมายของแผลกดทับซึ่งสรุปได้ดังนี้คือ แผลกดทับหมายถึง ภาวะที่หลอดเลือดฝอยซึ่งอยู่ระหว่างปุ่มกระดูกและเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ถูกกดหรือถูกทับเป็นเวลานานจนขาดเลือดมาเลี้ยงจากการนั่งหรือนอนในท่าเดียวเป็นเวลานานๆ ทำให้หลอดเลือดฝอยบริเวณดังกล่าวถูกกดทับจนอุดตัน เป็นผลให้ออกซิเจนและสารอาหารจากหลอดเลือดไม่สามารถมาเลี้ยงเนื้อเยื่อบริเวณดังกล่าวได้ทำให้เซลล์เริ่มตาย ซึ่งระยะแรกจะสังเกตเห็นผิวหนังเป็นรอยแดง (erythema) และหลังจากมีการเปลี่ยนท่าไปแล้วนานกว่า 30 นาที รอยแดงนั้นก็ไม่จางหาย แม้ในผู้ที่มีผิวสีเข้ม ก็มองเห็นได้, จากนั้นจะเกิดการบวมและมีน้ำขังจนกลายเป็นแผลพุพองขึ้น (blister formation) และ

สุดท้ายเกิดเป็นแผลลอกตรงบริเวณที่ถูกกดทับ. นอกจากนี้เมื่อจับผิวหนังบริเวณดังกล่าวจะรู้สึกอุ่นหรือเย็นกว่าผิวหนังบริเวณอื่น แผลกดทับที่เกิดขึ้นอาจเรียกว่า pressure ulcer, pressure sore, bed sore หรือ decubitus ulcer ซึ่งมีความหมายเดียวกัน.

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแผลกดทับ

แผลกดทับเป็นแผลที่เกิดจากการกดทับบริเวณหลอดเลือดฝอย โดยมีแรงกดเฉลี่ยมากกว่า 32 มิลลิเมตรปรอท โดยสาเหตุของการเกิดแผลกดทับเกิดได้จากหลายปัจจัย ดังนี้

1. แรงกดทับ (Intensity of pressure)

เนื้อเยื่อจะได้รับเลือดไปเลี้ยงต้องอาศัยการไหลเวียนของเลือดที่อยู่ภายในหลอดเลือดที่มีแรงดันเพียงพอที่จะให้เลือดสามารถไหลไปตามหลอดเลือดเพื่อนำสารอาหารไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย ในคนปกติมีแรงดันในหลอดเลือดฝอย (capillary arteriolar pressure) ที่นำเลือดไปเลี้ยงบริเวณผิวหนังประมาณ 32 มิลลิเมตรปรอท แรงกดที่มากกว่า 32 มิลลิเมตรปรอทกระทำต่อร่างกายอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้เลือดไปเลี้ยงเนื้อเยื่อบริเวณที่ถูกกดไม่เพียงพอ ผิวหนังและเนื้อเยื่อบริเวณรอบๆ ขาดออกซิเจน เกิดการคั่งของของเสียในเซลล์ ทำให้เกิดการตายของผิวหนังและเนื้อเยื่อต่างๆ (Bennett and Moody 1995 และ Phillips 1997) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางจึงเป็นการลดแรงกด หรือกระจายแรงกด ทำให้มีการไหลเวียนเลือดมาเลี้ยงผิวหนังบริเวณที่ถูกกด เนื้อเยื่อได้รับอาหารและออกซิเจนเพิ่มขึ้นจึงทำให้ไม่เกิดแผลกดทับ.

1. ระยะเวลาของแรงกด (duration of pressure)

มีการศึกษาพบว่า แรงกดทับที่มีปริมาณน้อยแต่คงอยู่เป็นเวลานานจะทำให้มีการทำลายมากกว่าการมีแรงกดทับในปริมาณสูงแต่ระยะเวลาสั้น.

2. แรงเฉือน (shearing force)

เป็นแรงที่เกิดจากการดึงรั้งระหว่างชั้นผิวหนังของผู้ป่วย เมื่อผู้ป่วยลื่นไถลตัวลงมาอาจทำให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อทำให้เป็นแผลได้และเกิดการอุดตันของหลอดเลือดฝอยในชั้นใต้ผิวหนัง การไหลเวียนเลือดในบริเวณที่รองรับแรงกดลดลง ทำให้เกิดการตายของเนื้อเยื่อตามมา.

3. แรงเสียดทาน (friction)

การเคลื่อนที่ของพื้นผิวสองอย่างสัมผัสกันโดยตรงกันข้าม ทำให้มีการฉีกขาดหลุดลอกของผิวหนังชั้นตื้นๆ เกิดการฉีกขาดของหลอดเลือดฝอย ใต้ผิวหนังทำให้เกิดแผลขึ้น แรงเสียดทานและแรงเฉือน เป็นปัจจัยเสี่ยงเกิดแผลกดทับ.

4. การถูกจำกัดการเคลื่อนไหว (immobility)

การถูกจำกัดการเคลื่อนไหวทำให้ร่างกายอยู่กับที่ หรืออยู่ในท่าเดิมตลอดเวลา ร่างกายบางส่วนอาจถูกกด ส่งผลให้เลือดไหลเวียนไปเลี้ยงในบริเวณที่ถูกกดไม่เพียงพออาจเกิดแผลกดทับได้.

5. ภาวะทุพโภชนาการ (malnutritional)

ในผู้ป่วยที่มีแผลกดทับมักพบเป็นผู้สูงอายุรูปร่างผอม รับประทานอาหารได้น้อย มีผลทำให้เซลล์สูญเสียความสมบูรณ์เกิดแผลกดทับได้ง่าย.

6. อายุ

ผู้สูงอายุจะมีการเปลี่ยนแปลง คือ การสร้างคอลลาเจนจะมีการลดลงอย่างมาก ทำให้ความยืดหยุ่นของผิวหนังลดลงและในผู้สูงอายุยังมีการสร้างหลอดเลือดฝอยที่ผิวหนังลดลง โดยหลอดเลือดฝอยที่ไปเลี้ยงใต้ผิวหนังจะลดลงประมาณ 1 ใน 3 ของอายุที่เพิ่มขึ้น.

7. ปัจจัยอื่นๆ

ได้แก่ ความเปื่อยขึ้น ในผู้ป่วยที่กลั้นปัสสาวะหรืออุจจาระไม่ได้ จะพบว่ามีผิวหนังเปื่อยจากความเปื่อยขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดแผลกดทับ และการที่ผิวหนังสัมผัสกับความเปื่อยขึ้นบ่อยๆ จะทำให้ความแข็งแรงของผิวหนังลดลงและเกิดเป็นแผลกดทับได้ง่าย, ภาวะความเจ็บป่วย, ความเจ็บป่วยหรือโรคที่มีผลต่อการเกิดแผลกดทับ ได้แก่โรคเบาหวานเกิดจากการที่เส้นเลือดเสียความยืดหยุ่น ทำให้การไหลเวียนโลหิตไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ไม่ดี และจากการทำงานของระบบประสาทบกพร่อง การรับรู้ความรู้สึกลดลง ส่งผลให้เกิดแผลกดทับได้ การสูญเสียการรับรู้สัมผัส, การสูบบุหรี่, ยา และการใช้อุปกรณ์ต่างๆ ในการรักษา ปัจจัยเหล่านี้ก็มีผลให้เกิดแผลกดทับในผู้ป่วยได้.

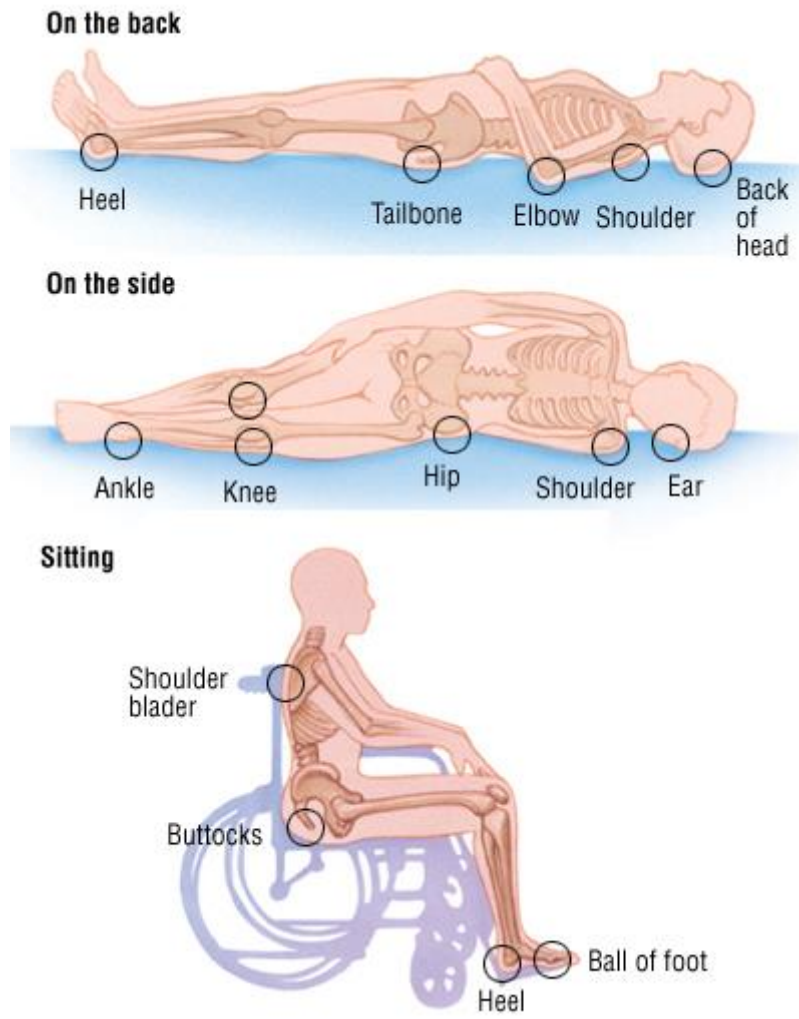
ตำแหน่งที่เกิดแผลกดทับ

1. ท่านอนหงาย จุดรับน้ำหนักของร่างกาย ได้แก่ ท้ายทอย, สะบัก, ศอก, กระเบนเหน็บ และส้นเท้า บริเวณที่อาจเกิดแผลกดทับได้คือ ส่วนนูนของท้ายทอย, ส่วนนูนของกระดูกสะบัก หัวกระดูกข้อศอก, กระดูกกระเบนเหน็บ และส้นเท้า โดยบริเวณที่มีแรงกดสูงสุดได้แก่กระดูกกระเบนเหน็บ ทำให้มีโอกาสเกิดแผลกดทับได้มากที่สุด.

2. ท่านอนตะแคง จุดรับน้ำหนักของร่างกาย ได้แก่ ไบหู, หัวไหล่ด้านข้าง, ซี่โครง, กระดูก ต้นขา, หัวเข่า, ตาตุ่ม บริเวณที่อาจเกิดแผลกดทับได้ คือ ไบหู, ปุ่มกอกหู, ปุ่มกระดูกหัวไหล่, ซี่โครง, ปุ่มกระดูกโคนขา และตาตุ่ม.

3. ท่านอนคว่ำ จุดรับน้ำหนักของร่างกาย ได้แก่ หู, แก้ม, หัวไหล่ด้านหน้า, ข้อศอก, บริเวณอวัยวะเพศ, หัวเข่า นิ้วเท้า บริเวณที่อาจเกิดแผลกดทับได้ คือ ปุ่มกอกหู, กระดูกโหนกแก้มปุ่ม, กระดูกหัวไหล่, ซี่โครง, ปุ่มกระดูกต้นขา, กระดูกสะบ้า และนิ้วเท้า.

4. ท่านั่ง ซึ่งจุดรับน้ำหนักของร่างกายอาจตกอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่งขึ้นอยู่กับท่านั่งของผู้ป่วยที่พบบ่อย ได้แก่ ด้านหลังต้นขา, ปุ่มกระดูกเชิงกรานและกระดูกก้นกบ.



ที่มา: ผลกดทับ คืออะไร??? ทำไมจึงเกิด ??? (2558)

รูปที่ 1.1 จุดรับน้ำหนักของร่างกาย.

ระดับของผลกดทับ

แผลกดทับมี 4 ระดับ ดังนี้

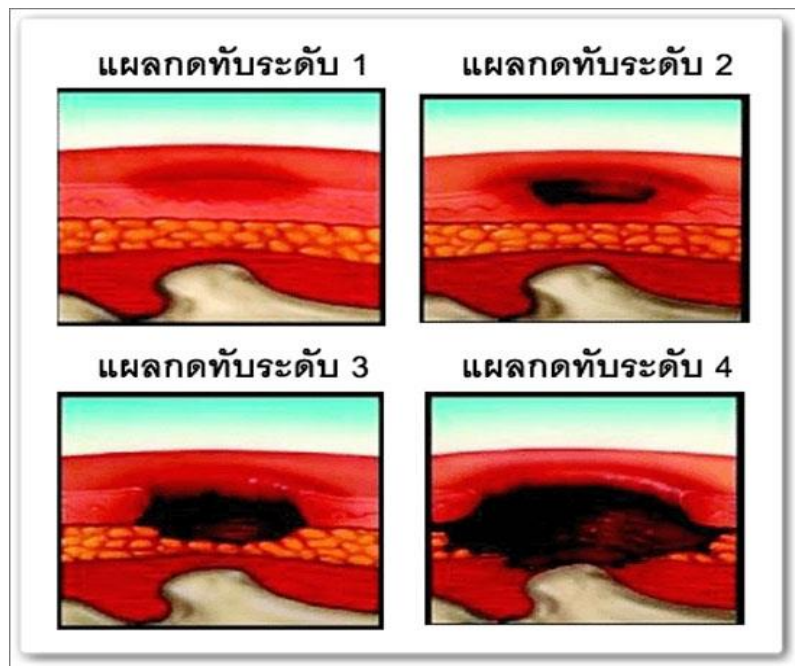
1. ระดับ 1 ลักษณะที่สำคัญและเป็นอาการเริ่มแรกสุดคือการอักเสบเฉียบพลันของผิวหนัง และเนื้อเยื่อชั้นต่างๆ ที่อยู่เหนือปุ่มกระดูกอัน ได้แก่ การขยายตัวของหลอดเลือดและการบวม (Edema) จากการขาดเลือด อาการทางคลินิกที่ตรวจพบคือ เนื้อเยื่อบริเวณนั้นจะบวมแดง ร้อน และแข็งตัวขึ้นกว่าปกติ และถ้าผู้ป่วยไม่ได้ สูญเสียการรับรู้ความรู้สึกไป ก็จะมีรู้สึกเจ็บบริเวณนั้นด้วย ระดับที่รุนแรงที่สุดของเกรดที่ 1 คือ แผลจะแฉะๆ มีการหลุดลอกของหนัง กำพรางจามองเห็นหนังแท้ การรู้จักสังเกตแผลกดทับมีความสำคัญมาก เพราะเกรดที่ 1 นี้ ถ้าได้ดูแลรักษาแผลให้สะอาด และหลีกเลี่ยงการกดทับซ้ำอีกแผลจะหายเป็นปกติได้ภายใน 5-10 วัน, การป้องกันสามารถทำได้โดย ป้องกันแรงเสียดทานแรงกดทับโดยใช้อุปกรณ์ที่ช่วยลดแรงกดทับ เช่น หมอน, ที่นอนลม, เจลโฟม และเปลี่ยนท่านอนทุก 2 ชั่วโมง ทาโลชันไม่ให้ผิวแห้ง, ป้องกันผิวไม่ให้เปียกชื้น กระตุ้นให้มีการเคลื่อนไหว.

2. ระดับ 2 ถ้าแรงกดทับยังคงดำเนินต่อไปเรื่อยๆ การอักเสบของเนื้อเยื่อจะเป็นมากขึ้นจนทำให้เกิดปฏิกิริยา fibroelastic ขึ้นในเนื้อเยื่อทุกชั้น ต่อมาจะเกิดการติดเชื้อแบคทีเรียร่วมกับความเปียกชื้นจากอูจจาระ, ปัสสาวะ ทำให้แผลขยายกว้างขึ้น และกิน ลึกลงชั้นหนังแท้ (dermis) ไปถึงรอยต่อกับชั้นไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous fat) ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นทางคลินิกคือเป็นแผลขอบชัดเจน เริ่มมี fibrosis และ pigmentation ส่วนรอบๆ จะมี ลักษณะบวมแดง ร้อนผิวหนังส่วนบนหลุดไป ฉีกขาดเป็นแผลตื้น มีรอยแดงบริเวณเนื้อเยื่อ รอบๆ มีอาการปวด, บวม, แดง, ร้อน มีสิ่งขับหลังจากแผลปริมาณเล็กน้อยหรือปานกลาง การดูแลคล้ายระดับ 1 การป้องกันไม่ให้แผลเพิ่ม เช็ดรอบๆ ด้วย ร้อยละ 70 แอลกอฮอล์ ใช้น้ำเกลือ (sterile isotonic sodium chloride solution) ทำความสะอาดแผล ใช้ silver sulfa diazine ทาแผล ปิดด้วยผ้าก๊อซ ใช้วาสลีนทาผิวหนังรอบแผล เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปียกแฉะ หลีกเลี่ยงการใช้ยา Povidine เช็ดแผล.

3. ระดับ 3 นี้แผลจะกินลึกถึงชั้นไขมันใต้ผิวหนังอย่างกว้างขวาง และรวดเร็วมีการติดเชื้อและการเน่าตายของไขมัน (fat necrosis) ผิวหนังรอบๆ จะบวมแดงและเป็นขอบแข็งม้วนเข้าใน การอักเสบจะลามถึงชั้นพังผืด (deep fascia), ส่วนชั้นกล้ามเนื้อแม้ว่าแผลจะลามไปไม่ถึงขั้นนี้ แต่ก็มี การอักเสบบวมแดง ซึ่งอาจทำให้เกิดการยึดติด (contracture) ของกล้ามเนื้อ และการผิดรูปของข้อ อันเป็นผลจากการเกร็งของกล้ามเนื้อได้, ส่วนกระดูกอาจมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อการอักเสบ เช่น มี subperiosteal new bone และ local osteoporosis ลักษณะอาการทางคลินิกคือ เห็นเป็นแผล ลึกถึงชั้นไขมันใต้ผิวหนัง มีกลิ่นเหม็นมีการอักเสบติดเชื้อ และการตายของเนื้อเยื่อที่ฐานของแผล

ขอบแผลจะคล้ำแยกจากผิวหนังที่ได้ชัดเจน ขอบบริเวณใกล้เคียงจะเริ่มตึง ผู้ป่วยอาจมีไข้, อาการขาดน้ำ ชีต และเม็ดเลือดขาวในเลือดเพิ่มขึ้น จากการสูญเสียของเหลวและโปรตีนออกจากแผลนี้มากมาย เกรดนี้ถือว่าเป็น 'classical decubitus ulcer' การรักษาแผลกดทับเกรดนี้จึงต้องดูแลอย่างใกล้ชิด เพราะอาจทำให้ผู้ป่วยถึงตายได้จากการติดเชื้ออย่างรุนแรง และการเสียโปรตีนและน้ำ และ การรักษาต้องอาศัยการผ่าตัดร่วมด้วย.

4. ระดับ 4 จากภาวะติดเชื้อและเน่าตายของเนื้อเยื่ออย่างมาก ทำให้ผลกั้นลึกผ่านชั้น deep fascia เข้าไปถึงชั้นกล้ามเนื้อ และกระดูกอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการติดเชื้อในกระดูก (osteomyelitis) และข้อ (septic joint) จนอาจทำให้ข้อเคลื่อนหรือหลุดได้ ลักษณะอาการทางคลินิกคล้ายเกรดที่ 3 ต่างกันเพียงว่าเกรดนี้จะกินลึกจนเห็นกระดูกที่ฐานของแผล และถ้าเป็นบริเวณ pelvis อาจเห็นว่าที่ฐานของแผลอาจโป่งออกมาเวลาความดันในช่องท้องสูงขึ้น ภาพทางรังสีจะพบลักษณะของการอักเสบติดเชื้อของกระดูกและมีการเสียเนื้อกระดูกไป การรักษาในเกรดนี้ก็เช่นเดียวกับเกรดที่ 3 คือ ต้องดูแลอย่างใกล้ชิดทั้งในเรื่องแผล ซึ่งต้องอาศัยการผ่าตัดช่วยด้วย ต้องให้ยาปฏิชีวนะอย่างแรง แก้ไขภาวะความไม่สมดุลของเกลือแร่ (electrolyte imbalance) ให้เลือดในน้ำให้เพียงพอ.



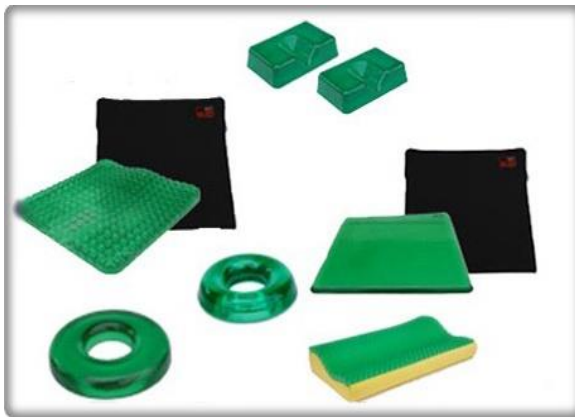
ที่มา : สุขภาพนักรบ (2556)

รูปที่ 1.2 ระดับของแผลกดทับ.

หลักการป้องกันการเกิดแผลกดทับ

การหาวิธีการป้องกันการเกิดแผลกดทับเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะหากเกิดแผลกดทับขึ้นแล้ว จะทำให้เกิดความสูญเสียทั้งเรื่องเวลา, ค่าใช้จ่าย, สภาพร่างกายและจิตใจของผู้ป่วย, ครอบครัวและผู้เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยทางการป้องกันแผลกดทับ ได้แก่

1. การลดแรงกดและแรงเสียดสี อุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดแรงกดทับ เช่น ที่นอนสลับ ความดัน หรือหมอน, เตียงลม หรือเบาะนอนนุ่มๆ.



รูปที่ 1.3 ลักษณะวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการลดแรงกดป้องกันการเกิดแผลกดทับที่มีจำหน่าย.

2. การพลิกตะแคงตัวและจัดท่าผู้ป่วย การพลิกตัว เป็นหลักเบื้องต้นในการป้องกันการเกิดแผลกดทับ โดยการพลิกตะแคงตัวผู้ป่วยอย่างน้อยทุก 2 ชั่วโมง.

3. การระวังการเสียดสี โดยเฉพาะระหว่างการยกตัว พลิกตะแคงตัว จึงควรใช้ผ้ายกตัว ไม่ควรใช้วิธีลากและไม่ควรเคลื่อนย้ายผู้ป่วยหรือยกผู้ป่วยเพียงลำพัง.

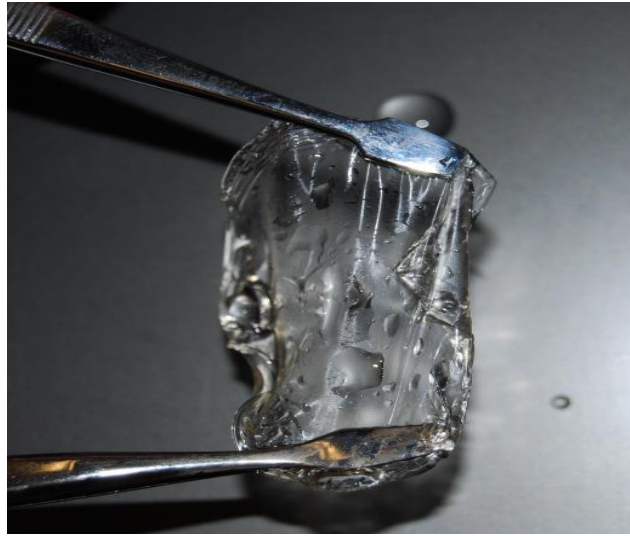
ไฮโดรเจล (hydrogel)

ชนิดของไฮโดรเจล

การจำแนกชนิดของไฮโดรเจลสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้งานได้ ดังนี้

1. ไฮโดรเจลชนิดแผ่นฟิล์ม (Cast film)

เป็นไฮโดรเจลสังเคราะห์ขึ้นเพื่อนำไปใช้เคลือบพื้นผิววัสดุต่างๆ

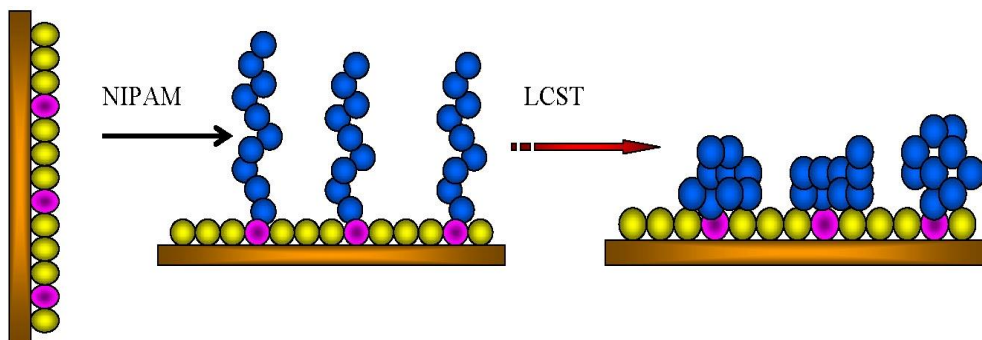


ที่มา : Ultrathin (2558)

รูปที่ 1.4 ตัวอย่างไฮโดรเจลชนิดฟิล์มที่ถูกนำไปใช้งานเกี่ยวกับดวงตา.

2. ไฮโดรเจลชนิดกราฟต์บนพื้นผิว (Surface grafted polymer)

ไฮโดรเจลชนิดนี้สามารถเตรียมได้โดยให้ไฮโดรเจลเกิดพันธะบนพอลิเมอร์อื่นที่ไม่สามารถละลายน้ำ ซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิวิกฤตกลางที่ทำให้พอลิเมอร์ไม่รวมตัวกับน้ำ (Lower Critical Solution Temperature: LCST) โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า LCST พอลิเมอร์จะเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ดีกับน้ำ จึงเกิดการบวมตัว ที่อุณหภูมิสูงกว่า LCST พอลิเมอร์จะแสดงสมบัติไม่ชอบน้ำจึงเกิดการหดตัว.

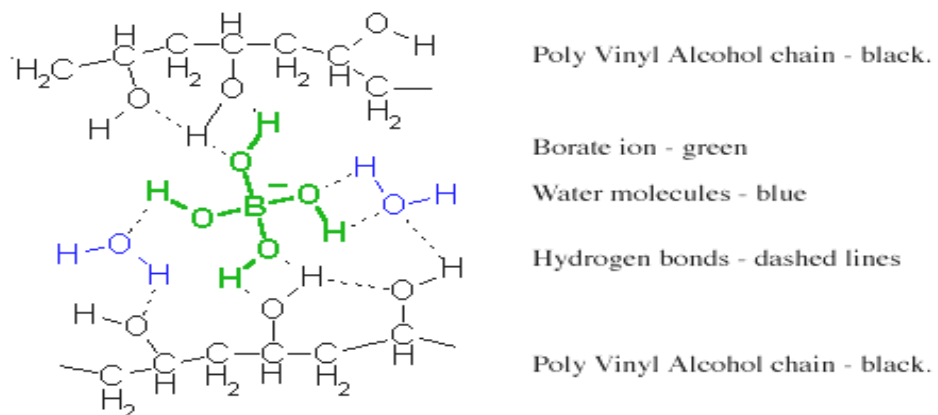
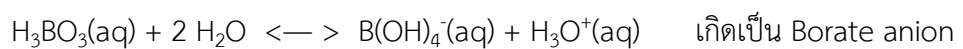
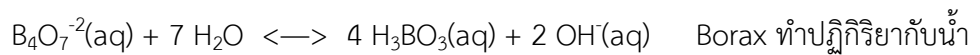
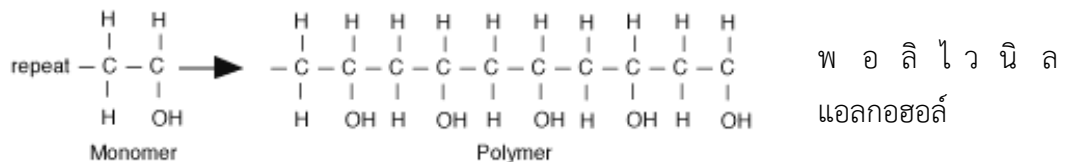


ที่มา: Surface (2558)

รูปที่ 1.5 กลไกการเตรียม Surface grafted polymer.

3. ไฮโดรเจลชนิดโครงร่างตาข่าย (Cross-linked Network)

เตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของสารละลายผสมของมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มปฏิกิริยา และสารเชื่อมขวางหรือบางกรณีอาจเติมตัวทำละลายลงไปด้วย จากนั้นเทลงในพิมพ์ ตัวอย่างการเตรียมไฮโดรเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบ Cross-linked Network ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ลักษณะของไฮโดรเจลที่เตรียมได้ด้วยวิธีนี้จะมีลักษณะใส เหนียว ค่อนข้างคงรูป แต่ฉีกขาดได้ง่าย.

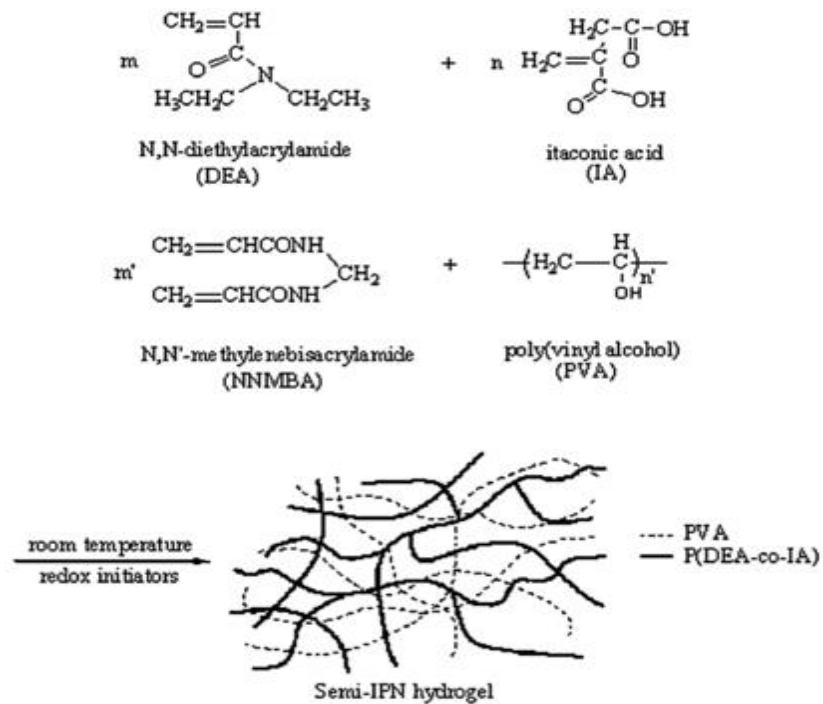


ที่มา: Slime (2558)

รูปที่ 1.6 กลไกการเกิดปฏิกิริยา Cross-linking

4. ไฮโดรเจลโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์ชนิดแทรกสอด (Interpenetrating Network Hydrogel, IPN)

IPN เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับ ความสนใจมากในปัจจุบัน โดยเชื่อว่าสามารถปรับปรุงและพัฒนาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ไฮโดรเจลได้เป็นอย่างดี ซึ่งตาข่ายพอลิเมอร์ชนิด IPN คือ การรวมกันของสองพอลิเมอร์ ซึ่งอยู่ในลักษณะที่เป็นโครงร่างตาข่าย โดยอย่างน้อยจะต้องมีโครงร่างตาข่ายหนึ่งสังเคราะห์ขึ้นมาก่อน จากนั้นสายโซ่ของพอลิเมอร์อีกตัวหนึ่งจะแทรกเข้าไปสร้างโครงสร้างตาข่ายขึ้นอีกอัน.



ที่มา: Semi-IPN hydrogel (2558)

รูปที่ 1.7 ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ไฮโดรเจลชนิด IPN ของ NNMBA และ PVA.

วิธีการเตรียมไฮโดรเจล

วิธีการเตรียมไฮโดรเจลถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเพื่อให้ได้ไฮโดรเจลที่มีสมบัติตามต้องการและเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานที่เจาะจง โดยไฮโดรเจลสามารถเตรียมได้หลายวิธี ดังนี้

1. Physical cross-linking

การเตรียมโดยวิธีการเชื่อมขวางทางกายภาพนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากเนื่องจากสะดวกทำได้ง่าย และมีข้อดีคือ ไม่จำเป็นต้องใช้สารเชื่อมขวาง ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการสังเคราะห์ไฮโดรเจล การเตรียมไฮโดรเจลด้วยการเชื่อมขวางทางกายภาพนี้สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

- Ionic interaction

การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้อาศัยการเกิดปฏิกิริยาแบบไอออนิกระหว่างหมู่ฟังก์ชันภายในสายโซ่ของไฮโดรเจล ทำให้เกิดเป็นไฮโดรเจลที่มีลักษณะเป็นไอออนิกพอลิเมอร์.

- Complex coacervation

การเตรียมทำโดยการนำพอลิเมอร์ที่เป็นแอนไอออนิกมาเชื่อมขวางกับพอลิเมอร์ที่เป็นแคตไอออนิก หลักการพื้นฐานคือ พอลิเมอร์ที่ใช้เตรียมจะต้องมีประจุตรงข้ามกัน เมื่อนำมาผสมกันจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน.

- H-bonding

การเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้อาศัยการสร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ฟังก์ชันภายในโครงสร้างของไฮโดรเจล.

2. Chemical cross-linking

การเตรียมด้วยวิธีนี้เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงของมอนอเมอร์ภายในสายโซ่ของพอลิเมอร์ การเตรียมวิธีนี้ต้องอาศัยการเติมสารเชื่อมขวางเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์สองสายโซ่เข้าด้วยกัน ทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีลักษณะเป็นโครงตาข่าย สารเชื่อมขวางที่นิยมใช้ ได้แก่ ethylene glycol dimethacrylate, EGDMA และ กลูตารัลดีไฮด์, GA เป็นต้น วิธีการเชื่อมขวางทางเคมี มี 2 แบบ ดังนี้

- การเติมสารเชื่อมขวาง (Chemical cross-linkers)

เป็นวิธีการเตรียมไฮโดรเจลโดยการเติมสารเชื่อมขวาง และอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันของพอลิเมอร์.

- การกราฟต์ (grafting)

เป็นวิธีการเตรียมไฮโดรเจลที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์บนสายโซ่พอลิเมอร์ โดยใช้สารเชื่อมขวางหรือรังสีความร้อนช่วยให้เกิดตำแหน่งว่องไว (Active site) ขึ้นมา, จากนั้นมอนอเมอร์จะเข้าไปกราฟต์บนสายโซ่พอลิเมอร์ และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันขึ้น เกิดการเชื่อมไขว้กันภายในสายโซ่ซึ่งการทำให้เกิดการกราฟต์ของมอนอเมอร์บนสายโซ่พอลิเมอร์ยังสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

- Chemical grafting เป็นการใส่สารเคมีเชื่อมขวางทำให้เกิด active sites แล้วเติมมอนอเมอร์เข้าไปกราฟต์บนสายโซ่ของพอลิเมอร์.

- Radiation grafting เป็นการเตรียมโดยอาศัยการฉายรังสีความร้อนพลังงานสูง เช่น รังสีแกมมา, ไมโครเวฟ และลำอิเล็กตรอน เป็นต้น เพื่อให้เกิด active sites แล้วเติมมอนอเมอร์เข้าไปกราฟต์บนสายโซ่พอลิเมอร์.

3. Radiation crosslinking

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยม เป็นวิธีเตรียมโดยอาศัยการฉายรังสีให้เกิดการเชื่อมต่อกันของมอนอเมอร์ภายในสายโซ่ของพอลิเมอร์ ซึ่งเชื่อว่าการเตรียมไฮโดรเจลวิธีนี้โครงร่างตาข่ายที่เกิดขึ้นจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทั้งทางด้านโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น โดยส่วนใหญ่วิธีนี้นิยมเตรียมเป็นสารละลายแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งทำให้ลดขั้นตอนการสังเคราะห์ สะดวกรวดเร็วและยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต.

การประยุกต์ใช้งานไฮโดรเจล

เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีที่เป็นโครงสร้างตาข่ายและมีรูพรุนมาก ทำให้ไฮโดรเจลสามารถดูดซับน้ำได้อย่างคงรูปอยู่ได้ และไม่ละลายน้ำ ทำให้ปัจจุบันไฮโดรเจลถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน ได้แก่ ด้านการเกษตร, ระบบขนส่งยา, ระบบการนำส่งโปรตีน, วัสดุตกแต่งบาดแผล เครื่องสำอาง, วิศวกรรมเนื้อเยื่อ, ชีวการแพทย์ และเป็นตัวดูดซับโลหะหนัก เป็นต้น.

ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาแผ่นรองกันแผลกดทับในลักษณะของแผ่นเจลที่มีคุณสมบัตินุ่มยืดหยุ่นสูง เพื่อให้มีความเหมาะสมในใช้สำหรับลดแรงกดของร่างกายซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่ทำให้เกิดแผลกดทับ โดยข้อเด่นของเบาะเจลเมื่อเทียบกับเบาะลม และเบาะน้ำที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า ปัญหาเรื่องการรั่วซึมน้อยกว่า, มีอุณหภูมิที่เย็น มีอายุการใช้งานนาน ปัจจุบันเบาะเจลที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีราคาที่ยังค่อนข้างแพง เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ. ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการเตรียมเจลขึ้นภายในประเทศ เพื่อให้ได้เบาะเจลที่มีราคาถูกลง เพิ่มโอกาสการเข้าถึงวัสดุทางการแพทย์นี้แก่ผู้ป่วย.

โดยงานวิจัยนี้จะเน้นไปที่การสังเคราะห์เนื้อเจลด้วยกระบวนการทางเคมี ได้แก่ การสังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (Cross-linking) สารไฮโดรเจล ร่วมกับการเติมสารตัวเติมต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ไฮโดรเจล หรือชื่อเรียกอื่นๆ ได้แก่ water gel, gel crystal หรือ water crystal เป็นสารที่มีสมบัติในการดูดน้ำ โดยสามารถดูดน้ำได้มากถึง 600 เท่าของน้ำหนักตัว เมื่อดูดซับน้ำจะมีลักษณะพองตัว, อ่อนนุ่ม สารที่เป็นองค์ประกอบของไฮโดรเจล เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, โซเดียมพอลอะคริเลต, อะคริเลตพอลิเมอร์ หรือ โคพอลิเมอร์ ซึ่งมีหมู่ที่รักน้ำ (ไฮดรอลิก) เช่น ไฮดรอกซิล (OH) หรือ คาร์บอกซิล (COOH) เป็นโครงสร้างอยู่เป็นจำนวนมาก ปฏิกิริยาเชื่อมขวางเป็นกระบวนการทางเคมีในการรวมโมเลกุล 2 หรือหลายๆ โมเลกุลเข้าด้วยกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ในทางเทคนิคมัก เรียกว่า ไบโอคอนจูเกชัน (bioconjugation) โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาจำเป็นต้องมีสารช่วยให้เกิดการเชื่อมขวาง (Cross-linking agent หรือ Cross-linker) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สลายโครงสร้างสองโมเลกุลหรือมากกว่าที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันจำเพาะได้.

1.6 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า แผ่นรองกันแผลกดทับที่มีจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบันมีหลายรูปแบบ เช่น แบบลม, แบบ Memory foam และแบบเจล แต่ที่ได้รับความนิยมและให้ผลที่ดีในการป้องกันการเกิดแผลกดทับ เป็นแผ่นรองแบบเจล เนื่องจากมีความทนทานและหากโดนของมีคมแผ่นเจลก็ยังคงสภาพการใช้งานได้จึงมีอายุการใช้งานนาน เมื่อเทียบกับแบบลมและแบบโฟม. นอกจากนี้

การใช้เจลยังมีข้อดีคือมีความยืดหยุ่นสูงไม่เหลวเหมือนน้ำ และจะทำให้ความรู้สึกเย็นลดความร้อนซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดแผลกดทับ โดยงานวิจัยที่ผ่านมามีการสังเคราะห์เจลได้จากหลายสูตรและหลายวิธี ได้แก่

David *et al.* ศึกษาการทำเบาะเจลพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นเบาะรองในการป้องกันและรักษาแผลกดทับหรือจุดประสงค์อื่นๆ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เจลถูกสังเคราะห์โดยการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวาง พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยใช้สารช่วยให้เกิดการเชื่อมขวาง ได้แก่ สารพอลิไดไฮดรอกซีอะลิวมิเนียม ใช้สารประเภทกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดไฮโดรคลอริก และมีการเติมสารพลาสติกไซเซอร์ร่วมในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ พอลิฟอสฟอรัส ไกลคอล เบาะรองเสริมสมบูรณ์โดยการบรรจุใส่ในช่องที่ทำจากฟิล์มบาง.

Tomokasu and Toshio (2009) ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เจลซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการใส่ประจุไฟฟ้าในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีค่า Degree of Hydrolysis ไม่น้อยกว่า 95 โมล เปอร์เซ็นต์ และมี Degree of polymerization เฉลี่ย ไม่น้อยกว่า 500 ใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นไม่น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ความเย็นที่ อุณหภูมิตั้งแต่ -9 ถึง -3 องศาเซลเซียส และทดลองที่ -5 ถึง 5 องศาเซลเซียส.

Gohill, Bhattachaya and Ray (2006) ได้ทำการศึกษาการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวางของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดมาลิกเป็นสารช่วยในการเกิดการเชื่อมขวางโดยปริมาณที่ใช้ในการทดลองอยู่ระหว่าง 2.5 และ 60 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักโดยน้ำหนัก อุณหภูมิที่ทดลองในช่วง 120 และ 160 องศาเซลเซียส เวลาที่ทดลองอยู่ระหว่าง 30 และ 120 นาที ศึกษาการบวมตัวทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ทำการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัว อัตราการบวมตัวและปริมาณเจล เพื่อหาปริมาณและสภาวะที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่า กรดมาลิกมีประสิทธิภาพในการช่วยเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางสำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยพบว่าปริมาณที่เหมาะสมในการใช้กรดมาลิกอยู่ในช่วง 30-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส กรดมาลิกช่วยในการเกิดการเชื่อมขวางของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในน้ำร้อนโดยสามารถเกิดปริมาณเจล 96-97 เปอร์เซ็นต์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งผ่านกระบวนการความร้อนนี้สามารถละลายในน้ำร้อนแต่ไม่ละลายในน้ำเย็น.

Mich and Walker (1975) ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจล กระบวนการเตรียมประกอบด้วยขั้นตอนการทำให้กลายเป็นของแข็ง การทดลองเตรียมโดยใช้สารละลายไวนิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 2.5-25 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีค่า degree of polymerization ไม่น้อยกว่า 800 และเติมพอลิไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ซึ่งละลายน้ำ 1-80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้ความเย็นแก่สารละลายโดยอุณหภูมิไม่สูงเกิน -3 องศาเซลเซียส, จากนั้นทำการกำจัดน้ำด้วยชุดสุญญากาศ ของแข็งที่ได้มี

เปอร์เซ็นต์ dehydration degree 5-95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจลที่ได้จากการเตรียมนี้สามารถนำไปใช้เป็นตัวกลางให้ความเย็นได้.

Mahdavinia, ทำการสังเคราะห์ไฮโดรเจลพอลิอะคริลาไมด์พูนตัวโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดไมโครเมตรและตามด้วยการ treatment ด้วยกรดเพื่อกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์และแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต/โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ถูกใช้เป็นสาร Crosslink-agent และตัวริเริ่มปฏิกิริยา Redox ตามลำดับ. จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์และปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลต่อการบวมตัวของเจล โดยการดูดซับน้ำสูงขึ้นเมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตลดลงและความเข้มข้นของเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้น. นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมไนเตรทจากไฮโดรเจล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของเมทิลีนบิสอะคริลาไมด์, ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมีผลต่อ และปริมาณการ load โพแทสเซียมไนเตรทมีผลต่อการปลดปล่อย.

Karagas *et al.* ศึกษาผลของวิธีการเตรียมแบบการริเริ่มด้วยปฏิกิริยาเคมีและเทคนิคการฉายรังสีแกมมา ชนิดของสารช่วย Cross-linking และความเข้มข้นต่อพฤติกรรมบวมของอะคริลาไมด์ไฮโดรเจล จากผลการทดลองพบว่า พารามิเตอร์การบวมตัวและการเชื่อมขวางขึ้นกับวิธีการเตรียม รวมทั้งขอบเขตและธรรมชาติของสาร Cross-linker ที่ใช้ โดยพบว่า การริเริ่มโดยการฉายรังสีมีข้อดีเหนือการริเริ่มโดยทางเคมี คือ สามารถเตรียมพอลิอะคริลาไมด์ไฮโดรเจลโดยปราศจากสาร Cross-linker การใช้ 1, 4-บิวเทนไดออล ไดเมทอะคริเลต และ/หรือ เอทิลีนไกลคอล ไดเมทอะคริเลต เป็นสาร Cross-linker ปริมาณต่ำไม่ประสบความสำเร็จด้วยวิธีทางเคมี และต้องการความเข้มข้นของสาร Cross-linker สูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าตัวริเริ่มและปริมาณ สาร Cross-linker สูงมีผลต่อโครงสร้างพฤติกรรมของเฟสของพอลิเมอร์ที่ขอบน้ำ.

การพัฒนาแผ่นเจลกันแผลกดทับในงานวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นการพัฒนาเจลที่มีคุณสมบัติทางด้านการกระจายแรง ความคงทนต่อการฉีกขาด และเพิ่มอายุการใช้งานโดยการศึกษาสาร Cross-linker ที่เหมาะสมที่สามารถให้เกิดการเชื่อมขวางได้ดี ร่วมกับการเติมสารเติมแต่ง พร้อมทั้งการพัฒนาในส่วนการขึ้นรูปแผ่นเจลให้เหมาะสมกับการใช้งานกับสรีระของคนไทยในส่วนที่มีความเสี่ยงในการเกิดแผลกดทับ.

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 สารเคมี วัสดุ

2.1.1 สารเคมี

- พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (MW 205,000, 15,000 และ 130,000) (PVA).
- พอร์มัลดีไฮด์ 37เปอร์เซ็นต์.
- กลูตารัลดีไฮด์.
- กรดไฮโดรคลอริก 37 เปอร์เซ็นต์.
- ยูเรีย.
- โพรพิลีนไกลคอล.
- สีผสมอาหาร.
- กรดอะคริลิก (AA).
- สารเมทิลเมทาคริเลต (MMA).
- แอมโมเนียม เปอร์ซัลเฟต (APS).
- N,N,N',N'-Tetramethylethylenediamine (TEMED).
- N-methylene-bis-acrylamide (BIS).
- สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH).
- เอทานอล.
- ซิลิโคน Part A, B.

2.1.2 วัสดุ

- เครื่องแก้ว.
- แม่พิมพ์ (ถาดพลาสติก, ถาดน้ำแข็ง).
- กระจกฉีดยา.
- फिल्मใสพอลิยูรีเทน หนา 0.15 มิลลิเมตร.
- फिल्मดำพอลิยูรีเทน หนา 0.05 มิลลิเมตร.
- फिल्मพอลิไวนิลคลอไรด์ใส หนา 0.01 มิลลิเมตร.
- ก๊าซไนโตรเจน.

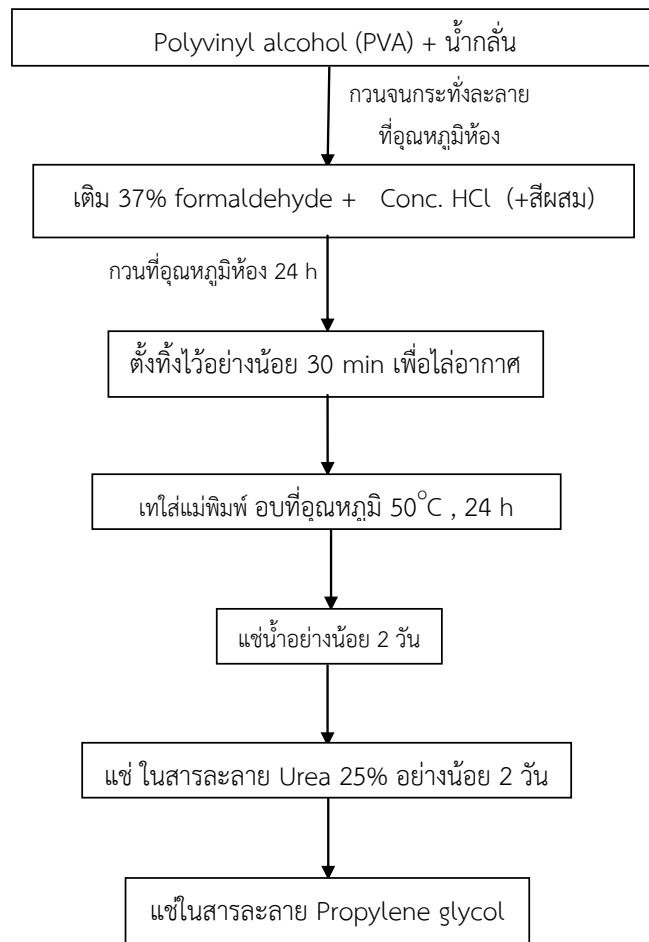
2.2 อุปกรณ์

- เครื่องซีลพลาสติกด้วยความร้อน.
- ตู้อบความร้อน.
- เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic stirrer).
- เครื่องกวนสารแบบใบพัด (Overhead stirrer).
- เครื่องชั่งน้ำหนัก.
- เครื่อง Universal testing ยี่ห้อ Instron รุ่น 4469.
- เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR).

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ เป็นสาร Cross-link agent

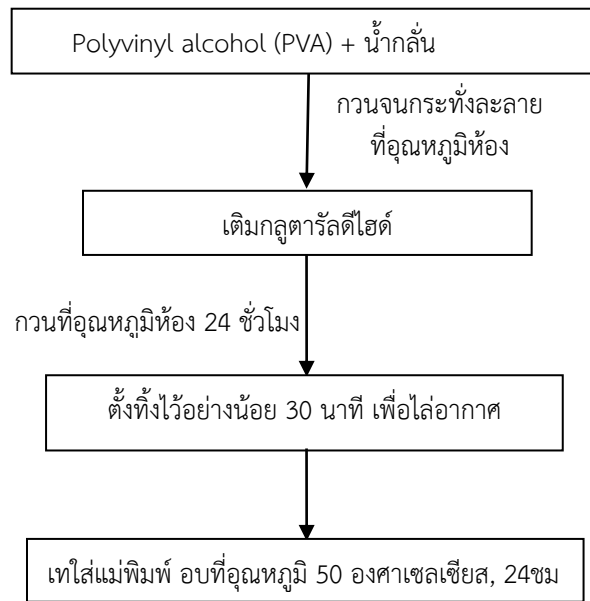
วิธีการเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ทำโดยชั่ง PVA 100 กรัม ใส่ลงใน ปีกเกอร์เติมน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร, ทำการกวนอย่างระมัดระวังที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่ง PVA ละลายหมด จากนั้นเติม พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสาร Cross-link agent 280 กรัม เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2 มิลลิลิตร ทำการกวนที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง. จากนั้นหยุดกวนและตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อไล่อากาศ เทใส่แม่พิมพ์ นำเข้าตู้อบที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เจลเกิดการเซตตัว นำเจลไปแช่น้ำอย่างน้อย 2 วัน จากนั้นแช่ในสารละลายยูเรีย 25 เปอร์เซ็นต์ อย่างน้อย 2 วัน โดยเปลี่ยนสารละลายยูเรียทุกวัน เพื่อล้างกรดและกำจัดสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออก จากนั้นแช่ในสารละลายโพรพิลีนไกลคอล 24 ชั่วโมง.



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็น cross-link agent.

2.3.1 การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยใช้ Glutaraldehyde เป็นสาร Cross- link agent

วิธีการเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ทำโดยชั่ง PVA 100 กรัม ใส่ลงใน ปีกเกอร์เติมน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ทำการกวนอย่างระมัดระวังที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่ง PVA ละลายหมด จากนั้นเติมกลูตารัลดีไฮด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นสาร Cross-link agent 16 มิลลิลิตร ทำการ กวนที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง. จากนั้นหยุดกวนและตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อไล่อากาศ เทใส่ แม่พิมพ์ นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เจลเกิดการเซตตัว หลังจากนั้นนำเจลออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง.



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการเตรียมสารไฮโดรเจลจากพอลิไวน์แอลกอฮอล์โดยใช้
กลูตารัลดีไฮด์ เป็น cross-link agent.

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมในการเตรียมไฮโดรเจลจาก PVA

สูตร	PVA					น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
	(กรัม)	MW	37% FMD	GTD (mL)	HCl (mL)	
1	10	15,000	28	-	1.0	100
2	10	130,000	28	-	1.0	100
3	10	205,000	28	-	1.0	100
4	10	130,000	28	-	0.5	100
5	10	130,000	28	-	1.0	100
6	10	130,000	28	-	2.0	100
7	5	130,000	5		0.5	50
8	5	130,000	7		0.5	50
9	5	130,000	14		0.5	50
10	5	130,000	-	0.4	-	50
11	5	130,000	-	0.8	-	50
12	5	130,000	-	1.0	-	50
13	5	130,000	-	3.0	-	50

2.3.2 การเตรียมแผ่นเจลป้องกันแผลกดทับจาก 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS)

ซัง AMPS ในรูปของแข็ง เป็นจำนวน 1, 2, 3 หรือ 4 กรัม เติมน้ำประปาละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ทำการกวนที่อุณหภูมิห้องประมาณ 10 นาที เติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทำการกวนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 6.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 5 หรือ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยคงปริมาตรรวมสุดท้ายของสารละลายที่ 3 มิลลิลิตร, หลังจากนั้น นำสารละลายที่ได้เข้าอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที สารละลายเปลี่ยนเป็นรูปเจลอย่างสมบูรณ์ สำหรับการเพิ่มขนาดชิ้นงานสามารถเตรียมโดยเพิ่มสัดส่วนจากวิธีเตรียมชิ้นต้น.

2.3.3 การเตรียมไฮโดรเจลจาก acrylic acid (AA)

- ขั้นตอนการเตรียมรีเอเจนต์
 - การเตรียมสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์ APS
ซังน้ำหนัก APS 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนที่อุณหภูมิห้องจนละลายหมด.

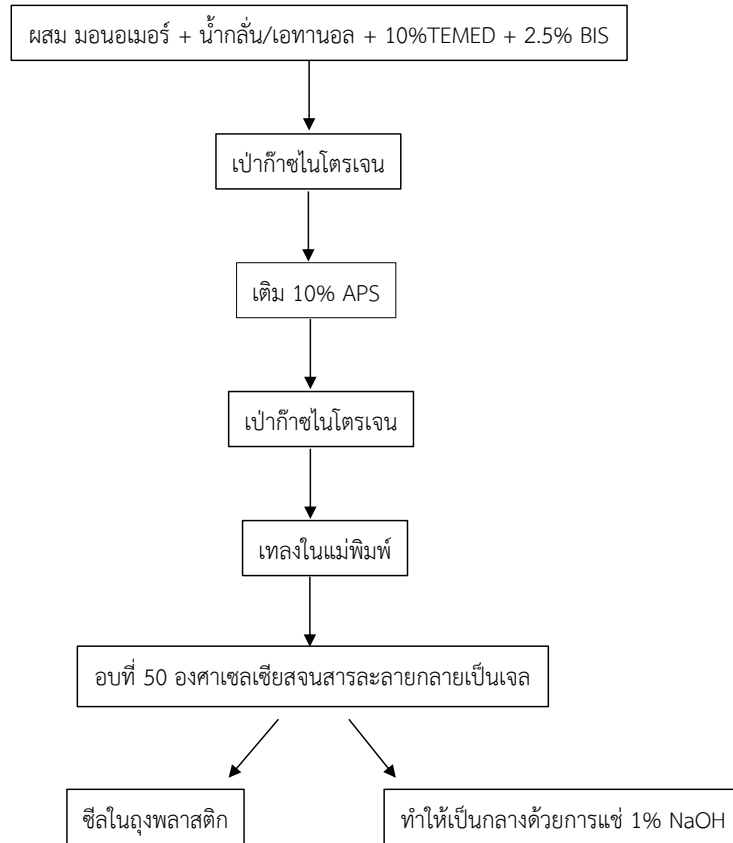
- การเตรียมสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์ TEMED
ตวง TEMED 10 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร.
- การเตรียมสารละลาย 2.5 เปอร์เซ็นต์ BIS
ชั่งน้ำหนัก BIS 2.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำไป sonicate จนกว่า BIS จะละลายหมด.

● **ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรเจล**

ผสมสารละลายแสดงดังตารางที่ 2.2 โดยทำการผสมมอนอเมอร์ (AA, MMA), น้ำกลั่น เอทานอล, 10 เปอร์เซ็นต์ TEMED, 2.5% BIS ลงในบีกเกอร์ เป่าก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในสารละลาย, หลังจากนั้นเติม 10 เปอร์เซ็นต์ APS เป่าก๊าซไนโตรเจน แล้วเทลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ นำไป สารละลายไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส คอยสังเกตทุกครั้งชั่วโมงว่าสารละลาย กลายเป็นเจลหรือยัง เมื่อสารละลายกลายเป็นเจลแล้ว นำเจลออกมาจากแม่พิมพ์ เจลที่ได้จะ แบ่งเป็น 2 แบบ คือแบบแรกคือนำเจลที่ได้ใส่ถุงพลาสติกแล้วซีล แบบที่สองนำเจลที่ได้มาทำให้ค่า pH เป็นกลาง โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ และล้างด้วยน้ำกลั่น และ สำนวจลักษณะภายนอกและความแข็งของเจล เพื่อเปรียบเทียบกับเจลที่มีอยู่ในการค้า.

ตารางที่ 2.2 ส่วนผสมในการเตรียมไฮโดรเจลจากกรดอะคริลิก

สูตร	AA	MMA	น้ำกลั่น	เอทานอล	2.5% BIS	10% TEMED	10% APS
Gel-AA1	4	-	6	-	8	0.64	1.44
Gel-AA2	3	1	2	4	8	0.64	1.44
Gel-AA3	2	2	2	4	8	0.64	1.44
Gel-AA4	1	3	2	4	8	0.64	1.44
Gel-AA5	-	4	2	4	8	0.64	1.44
Gel-AA6	4		10		10	0.64	1.44
Gel-AA7	4		10		8	0.64	1.44
Gel-AA8	4		10		6	0.64	1.44
Gel-AA9	4		10		4	0.64	1.44
Gel-AA10	4		10		1	0.64	1.44
Gel-AA11	4		10		0.4	0.64	1.44
Gel-AA12	68		170		6.8	11	25



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรเจลจากสารละลาย AA.

2.3.4 การเตรียมไฮโดรเจลจากสารละลายโซเดียมอะคริเลต (Na.AA)

- การเตรียมสารละลายเข้มข้นสารละลายโซเดียมอะคริเลต (Na.AA)

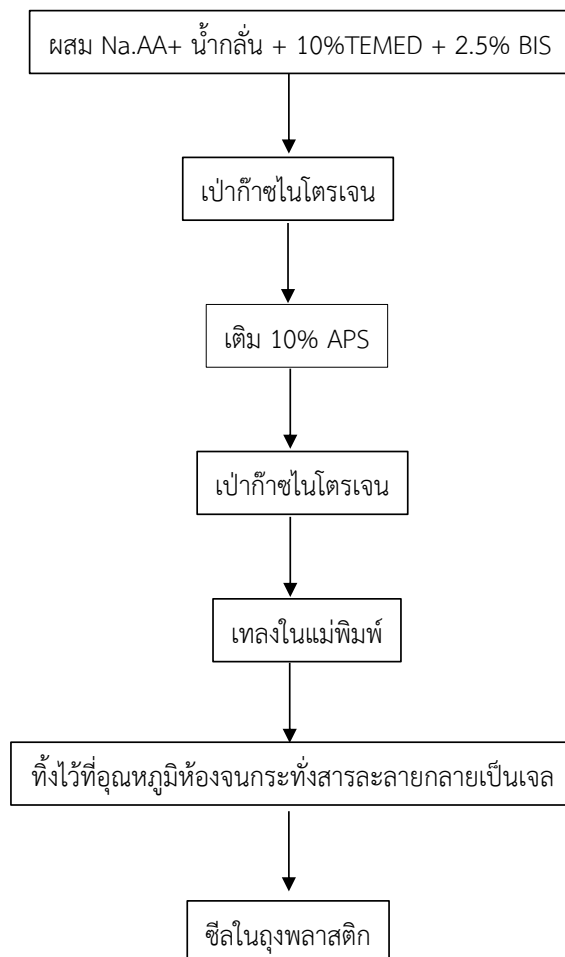
ชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 184 กรัม ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร หล่อบีกเกอร์ ในอ่างน้ำแข็ง คนจนโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายหมด หลังจากนั้นค่อยๆ เติมกรดอะคริลิก ปริมาณ 320 มิลลิลิตร ลงไปคนส่วนผสมให้เข้ากัน วัด pH ด้วยกระดาษ pH ค่าที่ได้ต้องมี pH =7 ถ้า pH สูงกว่า 7 ให้เติม กรดอะคริลิก เพิ่ม แต่ถ้า pH มากกว่า 7 ให้เติม NaOH เพิ่ม.

- การเตรียมไฮโดรเจลจากกรดโซเดียมอะคริเลต

ผสมสารละลาย ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยทำการผสม Na น้ำกลั่น, 10% TEMED, 2.5% BIS ลงใน บีกเกอร์ เป่าก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในสารละลาย หลังจากนั้นเติม 10% APS เป่าก๊าซไนโตรเจน แล้วเท ลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งสารละลายกลายเป็นเจล นำเจลออกมาจาก แม่พิมพ์ สักรวาลักษณะภายนอกและความแข็งของเจล เพื่อเปรียบเทียบกับเจลที่มีอยู่ในการค้า นำใส่ ถุงพลาสติกซึลเพื่อไม่ให้ความชื้นระเหยออกไป.

ตารางที่ 2.3 ส่วนผสมในการเตรียมไฮโดรเจลจากกรดโซเดียมอะคริเลต

สูตร	10%				
	Na.AA	TEMED	2.5% BIS	10% APS	น้ำกลั่น
Gel-Na.AA1	75	3.35	8	7	0
Gel-Na.AA2	75	3.35	8	7	7
Gel-Na.AA3	75	3.35	8	7	15
Gel-Na.AA4	75	3.35	6	7	0
Gel-Na.AA5	75	3.35	8	7	20
Gel-Na.AA6	75	3.35	8	7	25
Gel-Na.AA7	75	3.5	7	7.8	33



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเตรียมไฮโดรเจลจากกรดโซเดียมอะคริเลต

2.5 การทดสอบคุณสมบัติของไฮโดรเจล

2.5.1 การทดสอบความแข็งแรงกด (Compressive strength)

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงกดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร และมีความสูงประมาณ 20 มิลลิเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Universal testing ยี่ห้อ Instron รุ่น 4469 โดยหัวกดที่ใช้มีน้ำหนัก 5 กิโลนิวตัน และกดด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อนาที หัวกดจะเคลื่อนที่ลง กดตัวอย่างด้วยระยะทาง 15 มิลลิเมตร และอ่านค่าความแข็งแรงกด จากนั้นทำการทดสอบอีก 4 ครั้งต่อตัวอย่าง และเฉลี่ยค่าความแข็งแรงกด.



รูปที่ 2.5 เครื่อง Universal testing ยี่ห้อ Instron รุ่น 4469.

2.5.2 การทดสอบความสามารถการคืนตัว

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดสอบสมบัติความแข็งแรงกด โดยวัดความสูงเริ่มต้น ของตัวอย่าง (L_0) โดยหัวกดที่ใช้มีน้ำหนัก 5 กิโลนิวตัน และกดด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อหัวกดเคลื่อนที่ลงมากดตัวอย่างด้วยระยะทาง 15 มิลลิเมตร ให้กดค้างไว้ที่ตำแหน่งนั้นนาน 1 นาที จากนั้นเคลื่อนที่หัวกดออก ปล่อยให้ชิ้นงานตัวอย่างให้คืนตัวนาน 3 นาที และวัดความสูงของตัวอย่างที่ได้ (L_1) นำค่าความสูงของตัวอย่างมาคำนวณตามสมการ.

$$\text{ความสามารถการคืนตัว (เปอร์เซ็นต์)} = (L_1/L_0) \times 100$$

2.5.3 การทดสอบโครงสร้างทางเคมีของเจลด้วยเครื่อง FTIR

นำเจลมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นำเจลที่แห้งแล้วมาวิเคราะห์ด้วยหัว Attenuated total reflection (ATR)- FTIR วิเคราะห์ที่ความยาวคลื่น 400-4000 cm^{-1} .



รูปที่ 2.6 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer.

2.5.4 การทดสอบการบวมตัวของ Hydrogel

1. นำเจลที่ได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หลังจากที่ตั้งไว้จนเจลเย็นแล้ว นำมาแช่ในน้ำกลั่น.

2. นำเจลที่สังเคราะห์ได้ มาแช่น้ำกลั่นทันที นำเจลขึ้นมาชั่งน้ำหนักภายนอกและชั่งน้ำหนักคำนวณค่าการบวม (% Mass Swelling) ดังนี้

$\% \text{ Mass Swelling} = (\text{น้ำหนักของเจลหลังการแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักเจลแห้งเริ่มต้น}) / \text{น้ำหนักเจลแห้งเริ่มต้น} \times 100.$

2.6 การเตรียมแผ่นเจลรอกันแผลกตัดทับ

หลังจากการเตรียมเจลแล้ว การทดลองการเตรียมแผ่นเจลรอกันแผลกตัดทับแบ่งเป็น 2 แบบ ห่อเจลด้วยฟิล์มพลาสติกบาง แล้วซีลด้วยความร้อน โดยฟิล์มพลาสติกที่เลือกใช้มี 6 แบบ ได้แก่

- ฟิล์มพอลิยูรีเทนใส ความหนา 0.15 มิลลิเมตร (PU-หนา).
- ฟิล์มพอลิยูรีเทนสีดำ ความหนา 0.05 มิลลิเมตร (PU-บาง).
- ฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์ใส ความหนา 0.01 มิลลิเมตร (PVC).
- ฟิล์มจากถุงใส (Clear bag).
- ฟิล์มจากถุงซิป (Zip bag).
- ฟิล์มพอลิเอทิลีน ความหนา 0.015 มิลลิเมตร.

2.7 การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นเจล

2.7.1 การศึกษาการระเหยของน้ำของแผ่นเจล

นำเจลที่ห่อด้วยฟิล์มพลาสติกและซีลด้วยความร้อนแล้ว หรือเจลที่เคลือบด้วยซิลิโคนมา ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักแผ่นเจล นำผลน้ำหนักที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อดูความเปลี่ยนแปลง.

2.7.2 การทดสอบการรั่วซึมของแผ่นเจล

นำเจลที่มีการผสมสีผสมอาหารและห่อด้วยฟิล์มพลาสติกมาแช่ในน้ำกลั่น ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำน้ำหลังจากการแช่มาวัด pH และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS spectroscopy เพื่อดูปริมาณสีที่รั่วซึมออกมา.

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการเตรียมสารไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

3.1.1 การศึกษาผลของค่ามวลโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อการเตรียมไฮโดรเจล

ทำการทดลองเตรียมไฮโดรเจลจาก PVA Mw 15,000 , 130,000 และ 205,000 ที่สภาวะการทดลองโดยเตรียมสารละลาย PVA 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ 70 กรัม และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร. จากผลการทดลองพบว่าไฮโดรเจลที่เตรียมจาก PVA Mw 15,000 จะมีลักษณะใส สีเหลืองอ่อน ให้เจลที่มีความยืดหยุ่นสูง แต่ปริมาณเนื้อเจลน้อย ในขณะที่ไฮโดรเจลที่เตรียมจาก PVA Mw 130,000 และ 205,000 เริ่มต้นเจลที่ได้จะมีสีขาวทึบ มีเนื้อเจลที่มาก (หนากว่า) เมื่อเทียบกับ PVA Mw 15,000 แต่ที่ Mw 205,000 จะทำให้เจลมีเนื้อที่แน่นและแข็งกว่า การบวมตัวต่ำกว่า การยืดหยุ่นน้อยกว่า PVA Mw 130,000 และเมื่อผ่านขั้นตอนการแช่ในสารละลายโพรพิลีน ไกลคอล เจลที่เตรียมจาก PVA Mw 130,000 จะมีลักษณะเนื้อใสกว่า PVA Mw 205,000 โดยลักษณะของไฮโดรเจลที่เตรียมขึ้น, ดังแสดงในรูปที่ 3.1.



ก



ข



ค

รูปที่ 3.1 การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ก) MW 15,000

ข) MW 130,000 ค) MW 205,000.

3.1.2 การศึกษาผลของปริมาณ ฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ต่อการเตรียมไฮโดรเจล

เตรียม PVA Mw 130,000 และ 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมสารฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น Cross-link agent 3, 5, 7 กรัม และ Conc. HCl 0.5 มิลลิลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการทดลอง พบว่า เมื่อเติมปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ 3 และ 5 กรัม ไฮโดรเจลที่ได้จะมีลักษณะเนื้อเจลไม่แข็งแรง การยืดหยุ่นน้อย การคงรูปต่ำ เมื่อเทียบกับ

ที่ปริมาณ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ 7 กรัม ซึ่งเป็นผลจากการไม่เพียงพอของปริมาณสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางต่อปริมาณ PVA ลักษณะไฮโดรเจลที่ได้ แสดงดังในรูปที่ 3.2.



ก ข ค

รูปที่ 3.2 ผลของปริมาณ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ต่อการเกิดไฮโดรเจล PVA

ก. 3 กรัม ข. 5 กรัม ค. 7 กรัม.

3.1.3 การศึกษาผลของปริมาณกลูตารัลดีไฮด์ ต่อการเตรียมไฮโดรเจล

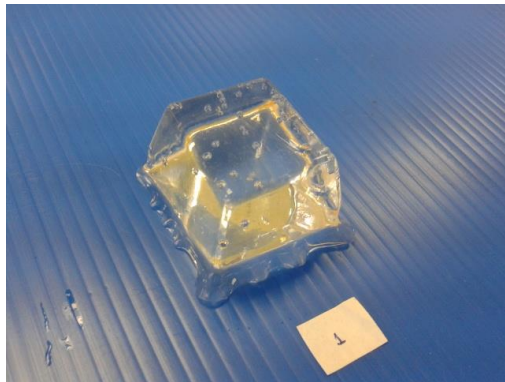
ทำการเตรียมไฮโดรเจลจาก PVA Mw 130,000 โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็นสาร Cross-link agent ทดลองเตรียมโดยใช้ PVA Mw 130,000, 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมกลูตารัลดีไฮด์ 0.4, 0.8, 1.0, 3 มิลลิลิตร จากการทดลองพบว่า เจลที่ได้จะมีลักษณะใส เมื่อปริมาณ กลูตารัลดีไฮด์ มากขึ้นปริมาณการเกิดเชื่อมขวาง เพิ่มขึ้นเจลจะมีลักษณะสีขุ่นขึ้น แข็งเปราะ ซึ่งแสดงให้เห็นได้จากการเติมกลูตารัลดีไฮด์ 1.0 และ 3.0 มิลลิลิตร เจลจะมีลักษณะคงรูป แข็งเปราะ แตกหักง่าย ไม่ยืดหยุ่น ในขณะที่เมื่อลดปริมาณ กลูตารัลดีไฮด์ เป็น 0.8 มิลลิลิตร พบว่า เจลมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น แต่เมื่อปริมาณกลูตารัลดีไฮด์ 0.4 มิลลิลิตร การเกิดเจลไม่สมบูรณ์ มีลักษณะ, เหนียวหนืด, ไม่คงรูป, ลักษณะเจลที่ได้จากการทดลอง, ดังแสดงในรูปที่ 3.3.



ก



ข



ค



ง

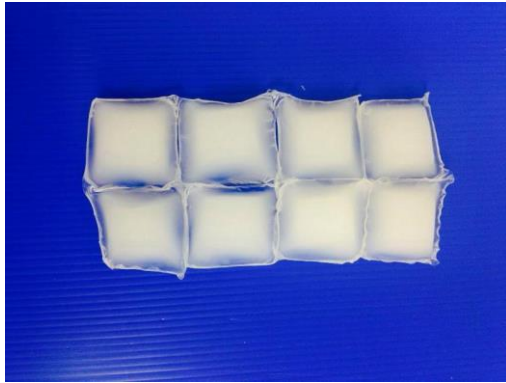
รูปที่ 3.3 ผลของปริมาณกลูตารัลดีไฮด์ ต่อการเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(PVA)

ก. 0.4 มิลลิลิตร ข. 0.8 มิลลิลิตร ค. 1.0 มิลลิลิตร ง. 3 มิลลิลิตร.

3.1.4 การศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเตรียมไฮโดรเจล

ทำการทดลองศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการเตรียมไฮโดรเจล ทำการทดลองโดยใช้ PVA Mw 130,000 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร 100 มิลลิลิตร 26-ดีมฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ 70 กรัม และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5, 1 และ 2 มิลลิลิตร จากผลการทดลองพบว่า เจลที่เตรียมขึ้นโดยการเติม HCl 0.5 มิลลิลิตร จะมีสีขาว, เนื้อเจลนุ่ม สามารถคืนตัวได้ดีเมื่อนำมาแช่ แต่การแช่ตัวค่อนข้างช้า ส่วนการเติม HCl 1 มิลลิลิตร จะให้เจลเนื้อสีขาว, เนื้อแน่น, ผิวเรียบ สามารถคืนตัวได้ดีเมื่อนำมาแช่ หลังจากอบมีฟองแก๊สเกิดขึ้น ในเนื้อเจลเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อเพิ่มปริมาณ HCl เป็น 2 มิลลิลิตร พบว่าเจลมีสีขาว ผิวขรุขระ เนื้อ

เจลกระด้าง เกิดฟองแก๊สปริมาณมากในเนื้อเจล ลักษณะไฮโดรเจลที่เตรียมขึ้นก่อนการแช่ในสารละลาย โพรพิลีนไกลคอล, ดังแสดงในรูปที่ 3.4.



ก



ข



ค

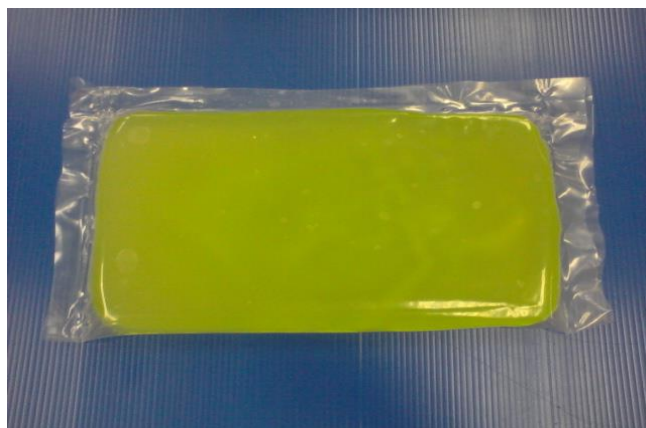
รูปที่ 3.4 ผลของปริมาณ HCl ต่อ การเตรียมไฮโดรเจล จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

ก) HCl 0.5 มิลลิลิตร ข) HCl 1 มิลลิลิตร ค) HCl 2 มิลลิลิตร.

3.1.5 การศึกษาการ Up Scale การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

จากการทดลองข้างต้นพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรเจลจาก PVA คือ ปริมาณสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์ PVA (มิลลิลิตร) : พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ (กรัม) : HCL (มิลลิลิตร) เท่ากับ 50:14:1, ดังนั้นจึงทดลองขยายขนาดโดยใช้ PVA Mw 130,000, ปริมาณสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เติมปริมาณสารละลายพอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ ทำหน้าที่เป็น Cross-link agent 280 กรัมและเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCL) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2 มิลลิลิตร.

ในส่วนของการเตรียมโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent พบว่า ปริมาณที่เหมาะสม คือ ปริมาณสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์ PVA (มิลลิลิตร): กลูตารัลดีไฮด์ เท่ากับ 50:0.8 ทดลองขยายขนาด Scale โดยใช้ PVA Mw 130,000 10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับกลูตารัลดีไฮด์ 16 มิลลิลิตร.



ข

รูปที่ 3.5 ผลการ up scale การเตรียมไฮโดรเจล PVA ก. พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์.

เป็น Cross-link agent ข. กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent.

3.1.6 ผลการศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่เตรียมขึ้น

- ผลการทดสอบความแข็งแรง (compressive strength)

จากการทดลองทดสอบความแข็งแรงต่อแรงกดของเจลที่เตรียมให้มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2x2x2 เซนติเมตร ทดสอบโดยใช้หัวกดที่มีน้ำหนัก 5 กิโลนิวตัน กดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะทาง 15 มิลลิเมตร จากผลการทดลองพบว่า ไฮโดรเจลที่เตรียมโดยใช้ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ เป็น Cross-link agent ให้ค่า compressive stress at break เท่ากับ 0.28 เมกะพาสคัล ในขณะที่ไฮโดรเจลที่เตรียมโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent ให้ค่า compressive stress at break เท่ากับ 0.46 เมกะพาสคัล.

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงความแข็งแรงของไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ตัวอย่างที่	ค่า compressive stress at break เจลที่ใช้เป็นสาร Crosslink agent (MPa)	
	พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์	กลูตารัลดีไฮด์
1	0.29	0.43
2	0.24	0.49
3	0.31	0.48
ค่าเฉลี่ย	0.28	0.46
S.D.	0.036	0.032

- ผลการทดสอบการความสามารถการคืนตัว

จากการทดสอบกดตัวอย่างเจลด้วยหัวกดหนัก 5 กิโลนิวตัน ความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะการกดลงบนเจล 15 มิลลิเมตร ค้างไว้นาน 1 นาที จากนั้นเคลื่อนที่หัวกดออก ปล่อยให้ตัวอย่างให้คืนตัวนาน 3 นาที ซึ่งผลความสามารถคืนตัวของตัวอย่างของไฮโดรเจลที่เตรียมโดยใช้พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ และ กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent มีค่าเท่ากับ 99.50 เปอร์เซ็นต์ และ 99.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2.

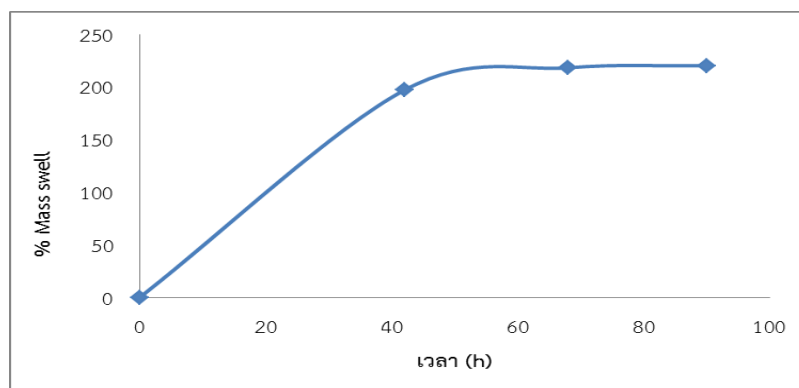
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบความสามารถการคืนตัวของไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ตัวอย่างที่	ความสามารถการคืนตัวของเจลที่ใช้เป็น	Crosslink agent (เปอร์เซ็นต์)
	สารฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์	กลูตารัลดีไฮด์
1	100	98.73
2	98.50	99.78
3	100	99.47
ค่าเฉลี่ย	99.50	99.32
S.D.	1.87	1.87

● ผลการทดสอบการบวมตัวของไฮโดรเจล

○ ผลการทดสอบการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังอบแห้ง

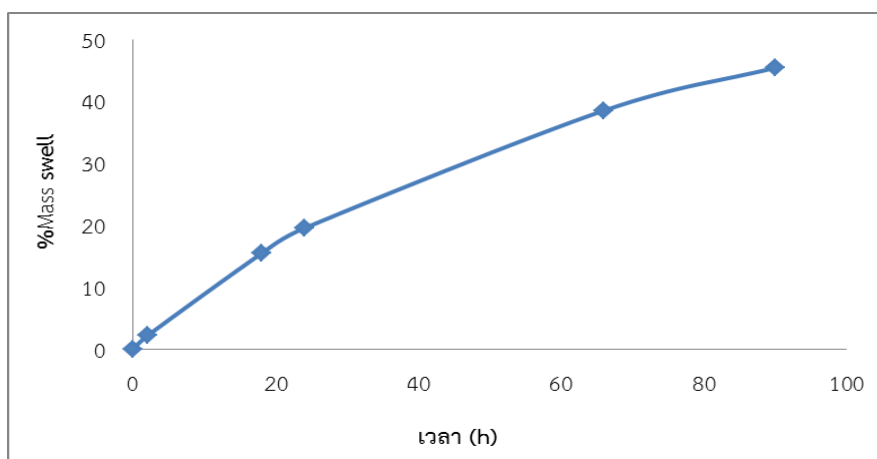
ทดสอบการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง, หลังจากนั้นแช่น้ำที่เวลาต่างๆ ไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent พบว่า ปริมาณการบวมตัวของเจล ดังแสดงในรูป 3.6 ที่เวลา 90 ชั่วโมง มีค่า %Mass swell เท่ากับ 220.30 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีของการไฮโดรเจล PVA โดยใช้ ฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ เป็น Cross-link agent ภายหลังจากการเปลี่ยนจากการบวมตัวด้วยน้ำเป็นสารละลาย สารโพรพิลีน ไกลคอล พบว่า ความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิของเจลสูงขึ้น โดยหลังอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เจลมีน้ำหนักลดลงเพียง 17.80 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบว่าเจลเกิดการหดตัวและน้ำหนักลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการแพร่ออกจากเจลของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ทำให้น้ำไม่สามารถผ่านเข้าไปในเจลได้อีก.



รูปที่ 3.6 ผลการบวมตัวหลังการอบที่ 50 องศาเซลเซียส ของไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent.

○ ผลการทดสอบการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังการสังเคราะห์

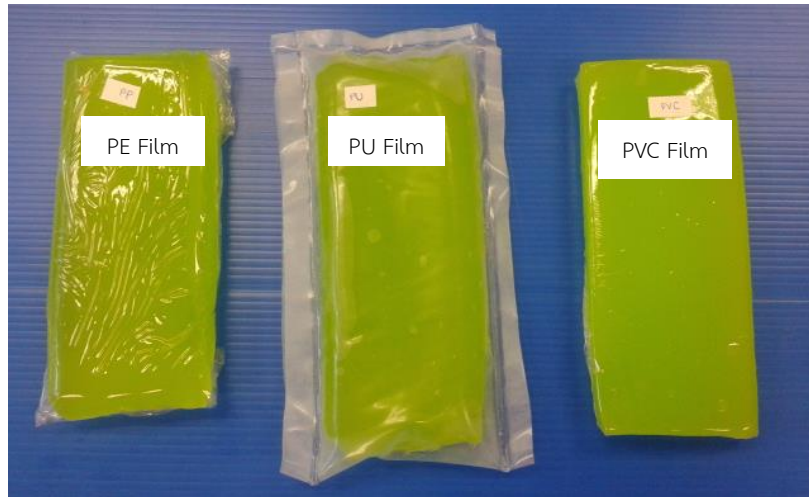
ทดสอบการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังการสังเคราะห์ โดยหลังการสังเคราะห์นำเจลไปแช่น้ำ และชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คำนวณค่า %Mass swell โดยที่เวลา 90 ชั่วโมง ไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent มีค่า %Mass swell 45.50 เปอร์เซ็นต์. ผลการทดลองดังแสดงในรูป 3.7 ในกรณีของการไฮโดรเจล PVA โดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ เป็น Cross-link agent ภายหลังจากการเปลี่ยนจากการบวมตัวด้วยน้ำเป็นสารละลายโพรพิลีนไกลคอล และเมื่อนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบว่าเจลเกิดการหดตัวและน้ำหนักลดลง 20 เปอร์เซ็นต์.



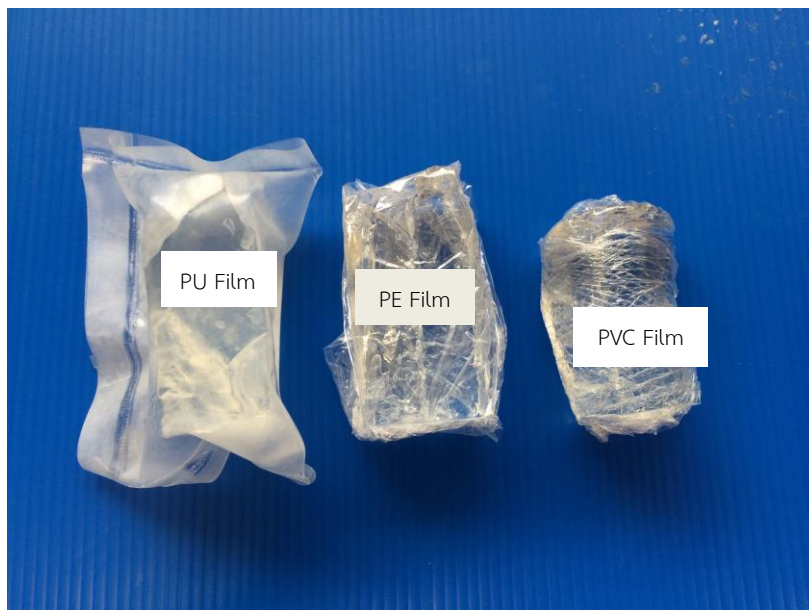
รูปที่ 3.7 ผลการบวมตัวหลังการสังเคราะห์ของไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent.

3.1.7 ผลการทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรองกันแผลกดทับ

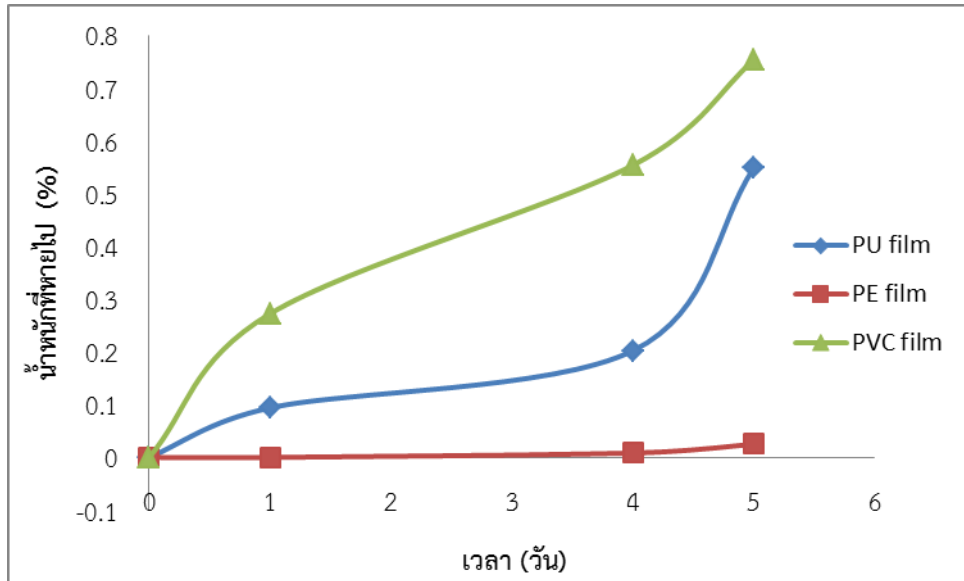
หลังการเตรียมไฮโดรเจล นำแผ่นเจลที่เตรียมได้มาห่อด้วยฟิล์ม 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มพอลิยูรีเทนหนา 0.15 มิลลิเมตร ฟิล์มพอลิเอทิลีนหนา 0.02 มิลลิเมตร และฟิล์มพอลิไวนิลคลอไรด์หนา 0.01 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาหาฟิล์มที่เหมาะสมในการป้องกันการระเหยของน้ำในไฮโดรเจล โดยวัดน้ำหนักที่หายไปหลังห่อด้วยฟิล์มและวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับไฮโดรเจลที่เตรียมขึ้นทั้ง 2 วิธี โดยผลของน้ำหนักที่หายไป, ดังแสดงในรูปที่ 3.8, 3.9, 3.10, และ 3.11.



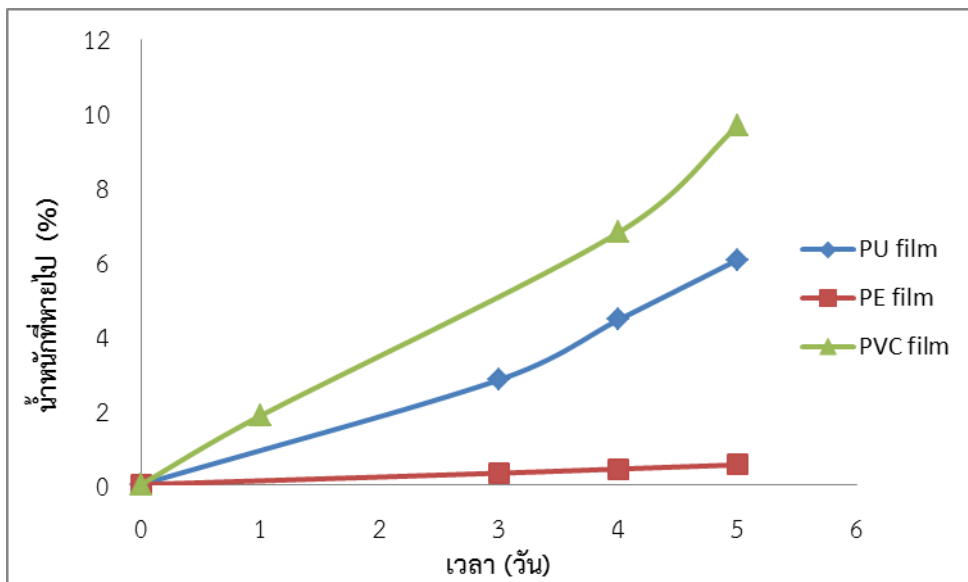
รูปที่ 3.8 การทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรอกันแผลกตัทับจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ เป็น Cross-link agent ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ.



รูปที่ 3.9 การทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรอกันแผลกตัทับจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ เป็น Cross-link agent ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ.



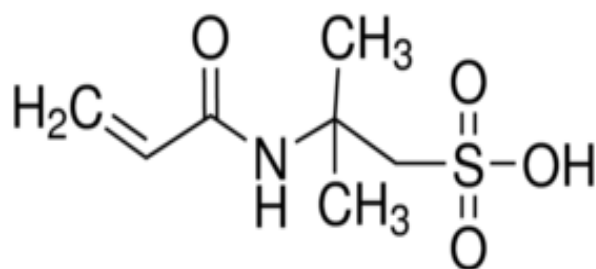
รูปที่ 3.10 ผลการทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรองแผลกดทับจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้ พอร์มัลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ เป็น Cross-link agent ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ.



รูปที่ 3.11 ผลการทดสอบการเตรียมแผ่นเจลรองแผลกดทับจากไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมโดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ เป็น Cross-link agent ด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ.

3.2 ผลเตรียมไฮโดรเจลจาก 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS)

รูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS) โดยจะพบว่าหมู่ที่สำคัญสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวาง คือ ที่ตำแหน่ง $H_2C=C=O$ ซึ่งใช้พลังงานในการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างพันธะทางเคมีที่ต่ำ เมื่อเทียบกับหมู่ที่สำคัญในตำแหน่งอื่นที่มีความต้องการพลังงานที่สูงกว่าในการเกิดพันธะเคมี. แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีบางชนิดเพื่อมาทำการกระตุ้นให้พันธะคู่ในโครงสร้างเกิดการเปิดพันธะ และจำเป็นต้องใช้สารเคมีเชื่อมขวางในการเชื่อมขวางทางโครงสร้างเคมี เพื่อให้เกิดเป็นเจล ซึ่งในการทดลองนี้มีแนวคิดที่จะไม่ใช้สารเคมีที่ทำหน้าที่กระตุ้นกระตุ้น และสารเคมีเชื่อมขวางในการเชื่อมขวางทางโครงสร้างเคมี เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีและเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการกระตุ้นให้ปฏิกิริยาดำเนินไปโดยการเชื่อมขวางแบบเบ็ดเสร็จภายในสารตั้งต้นของตัวเองโดยใช้คลื่นพลังงานไมโครเวฟเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการดำเนินของปฏิกิริยา และเมื่อพิจารณาถึงหมู่ที่สำคัญลำดับถัดไปนั้น จะพบว่าหมู่ O_2SOH อยู่ในโครงสร้างที่พร้อมจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนที่แสดงความเป็นกรด เมื่อเกิดการละลายน้ำ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงจำเป็นต้องใช้สารละลายที่มีความเป็นเบสเพื่อปรับความลดปริมาณความเป็นกรดของสารละลายเพื่อให้เจลมีความปลอดภัยต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น.

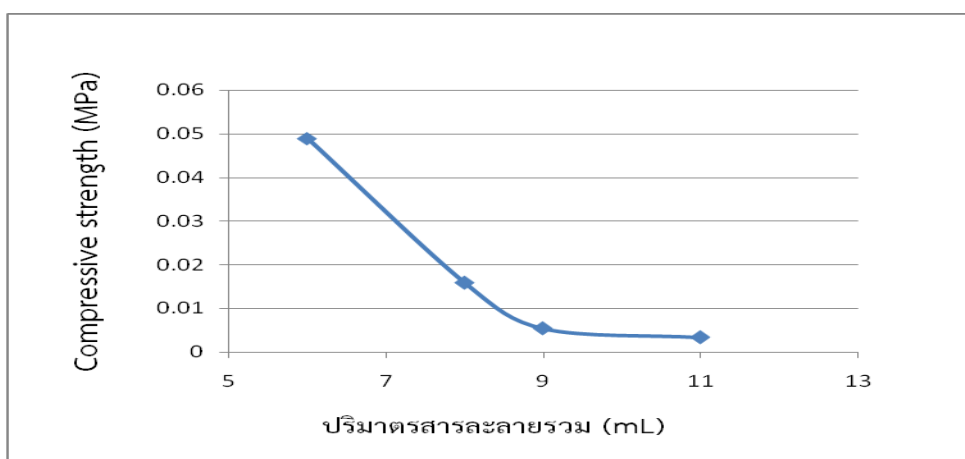


รูปที่ 3.12 ลักษณะโครงสร้างทางเคมี 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS).

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนสารเคมีที่ทำการเตรียมวัสดุเจลและค่าความต้านทานแรงกดของวัสดุเจล

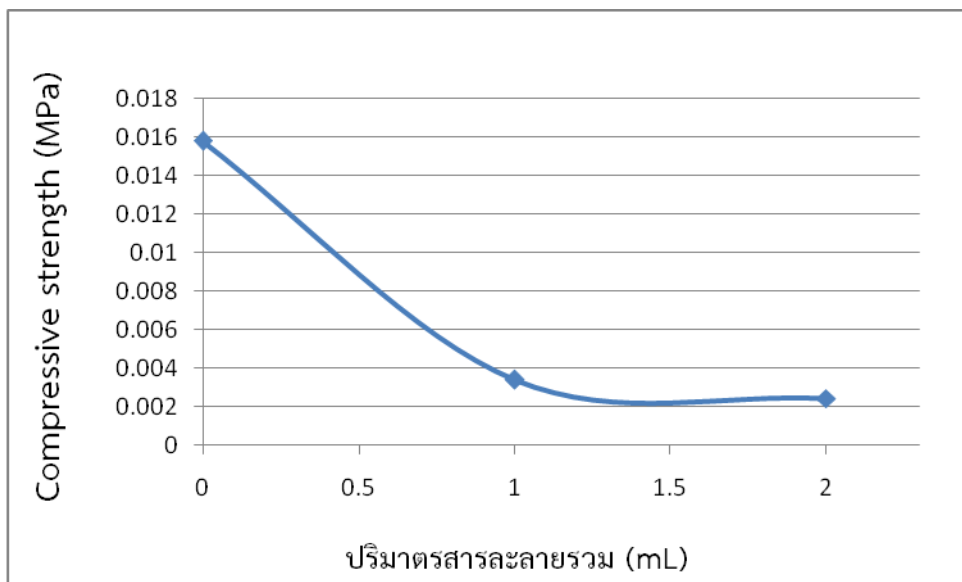
สูตร	น้ำหนักพอลิเมอร์ (กรัม)	ปริมาตรสารละลายรวม (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำที่เติมหลัง ขึ้นรูป (มิลลิลิตร)	Compressive strength (MPa)
1	8	6	-	0.04893
2	8	8	-	0.01582
3	8	9	-	0.00543
4	8	11	-	0.00335
5	8	8	1	0.00340
6	8	8	2	0.00242

จากตารางที่ 3.3 แสดงค่าความต้านทานแรงกดต่อปัจจัยทางด้านปริมาตรของสารละลายรวม โดยในการทดลองนี้ทำการตั้งค่าน้ำหนักของสารตั้งต้นที่น้ำหนักคงที่ คือ 8 กรัม แล้วทำการหาสัดส่วนของปริมาตรรวมของสารละลายที่ส่งผลต่อความแข็งของวัสดุเจล จากผลการทดลองพบว่า ปริมาตรรวมของสารละลายมีผลต่อความต้านทานแรงกดของวัสดุเจล โดยพบว่า เมื่อมีปริมาณสารละลายรวมที่เพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงกดของเจลจะมีค่าลดลง โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ปริมาตรรวมที่มากที่สุด คือ 11 มิลลิลิตร ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกดมีค่าต่ำที่สุด คือ 0.00335 เมกะพาสคัล ในขณะที่เจลที่ใช้ปริมาตรสารละลายรวมน้อยที่สุดคือ 6 มิลลิลิตร จะให้ค่าความต้านทานแรงกดที่สูงที่สุด คือ 0.04893 เมกะพาสคัล, ดังนั้นจึงสรุปได้เบื้องต้นว่า ปริมาตรรวมสารละลายมีผลต่อความต้านทานแรงกดของเจล, ดังแสดงในรูปที่ 3.13.



รูปที่ 3.13 ภาพแนวโน้มผลของปริมาตรรวมของสารละลายที่นำมาขึ้นรูปวัสดุเจลต่อค่าความต้านทานแรงกดของวัสดุเจล.

นอกจากนั้นในการทดลองนี้ นำผลของวัสดุเจลที่ได้ทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแล้วมาทำการศึกษาผลของการแช่เจลลงในน้ำที่ปริมาณแตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลของค่าความต้านทานแรงกดต่อปริมาณน้ำที่ใช้แช่วัสดุเจล จากตารางที่ 3.3 ในส่วนของการเติมน้ำจะพบว่า เมื่อนำเจลที่ได้มาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดการซึมของน้ำเข้าไปภายในเนื้อเจล ซึ่งจะพบว่าการน้ำจะมีการเคลื่อนที่เข้าไปในเนื้อเจลจนหมด เนื่องจากภายในเนื้อเจลมีช่องว่างขนาดระดับออสโตรมจำนวนมาก ส่งผลให้แรงดันจากน้ำภายนอกที่ใช้แช่วัสดุเจลมีแรงดันที่มากกว่าแรงดันจากน้ำภายในของวัสดุเจล ทำให้เจลเกิดการดูดซับน้ำและเกิดการขยายตัวทุกทิศทุกทาง โดยจากผลการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานแรงกดจะมีปริมาณที่ลดลง เมื่อมีปริมาณการแช่น้ำที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากน้ำที่ถูกซึมซับเข้าไปในเนื้อเจลส่งผลทำให้เกิดการขยายตัวของรูพรุนของเจลที่มีช่องว่างที่ห่างกันมากขึ้น ความหนาแน่นของวัสดุเจลจึงลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงกดของเจลลดไปด้วย โดยจะพบว่า เมื่อไม่มีการเติมน้ำเข้าไปในเนื้อเจล, ซึ่งเจลจะมีค่าความต้านทานแรงกดที่ 0.01582 เมกะพาสคัล และจะมีค่าความต้านทานแรงกดที่ลดลง ที่ 0.00340 เมกะพาสคัล เมื่อมีการแช่น้ำที่ปริมาตรรวม 1 มิลลิลิตร และค่าความต้านทานแรงกด จะลดลงเหลือ 0.00242 เมกะพาสคัล เมื่อมีการแช่น้ำที่ปริมาตรรวม 2 มิลลิลิตร ดังแสดงแนวโน้มของปริมาณน้ำที่ใช้แช่เจลต่อค่าความต้านทานแรงกด ดังแสดงในรูปที่ 3.14.



รูปที่ 3.14 แนวโน้มผลของปริมาตรรวมของสารละลายที่นำมาแช่วัสดุเจลต่อค่าความต้านทานแรงกดของวัสดุเจล.



รูปที่ 3.15 สารละลายที่เปลี่ยนรูปเป็นเจล.

3.3 ผลการเตรียมไฮโดรเจลจากกรดอะคริลิก (acrylic acid, AA)

จากผลการเตรียมไฮโดรเจลจาก AA พบว่า เมื่อมีปริมาณ 2.5%BIS ซึ่งเป็นตัวเชื่อมขวางในปริมาณที่มาก โดยใช้มอนอเมอร์ตั้งต้นเป็น AA ไฮโดรเจลที่ได้จะมีลักษณะเป็นเจลใส แต่มีความแข็งและแตกหักง่าย โดยเจลที่ได้จะมีความแข็งลดลงเมื่อลดปริมาณของ 2.5%BIS โดยเมื่อใช้อัตราส่วนของ AA 4 มิลลิลิตร, น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร, 2.5%Bis 0.4 มิลลิลิตร พบว่าเจลที่ได้เป็นเจลใส ที่มีความนุ่มและมีความยืดหยุ่น ซึ่งเปรียบเทียบกับโดยการสัมผัสเจลภายนอกแล้ว พบว่าใกล้เคียงกับเจลกันแผลกดทับที่ใช้ทางการแพทย์มาก ลักษณะเจล, ดังแสดงในรูปที่ 3.16.

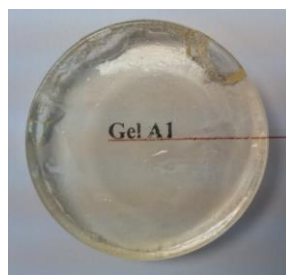
ส่วนไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมเมทิลเมทาคริเลต (MMA) เนื่องจากส่วนผสมนี้จะแยกตัวออกจากน้ำ จึงต้องมีการใช้เอทานอลมาช่วยในการเป็นตัวทำละลาย หลังจากที่ทำปฏิกิริยา พบว่าไฮโดรเจลที่มี MMA เป็นส่วนผสม จะมีลักษณะสีขาวขุ่น และเจลที่ได้จะมีลักษณะที่แข็ง โดยเมื่อเปลี่ยนจาก AA มาเป็น MAA ทั้งหมดพบว่าเจลที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาวและมีความแข็งมาก.

เมื่อนำสูตร Gel-AA11 ซึ่งมีความนุ่มและยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเจลทางการแพทย์มาขยายสเกลเพิ่มมากกว่า 10 เท่า พบว่า Gel-AA12 ที่ได้มีลักษณะใส นุ่มและยืดหยุ่นดีเหมือนกับเจลที่เตรียมใสสเกลเล็กกว่า แต่เนื่องจาก Gel-AA ที่เตรียมได้มีความเป็นกรดสูง และมีกลีนิกรดที่ค่อนข้างรุนแรง หลังจากการเตรียมเป็นไฮโดรเจลแล้ว จึงนำไปแช่ในสารละลาย NaOH 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เจลเปลี่ยนจากกรดมาเป็นกลาง หลังจากการทำให้เจลเป็นกลางพบว่า เจลที่ได้ดูดน้ำเข้าไปในเนื้อเจลในปริมาณที่มาก ทำให้เจลไม่คงรูปเดิมอีกทั้งยังทำให้เจลเปราะกว่าเดิมเนื่องจากมีปริมาณน้ำในเนื้อเจลที่มากเกินไป.

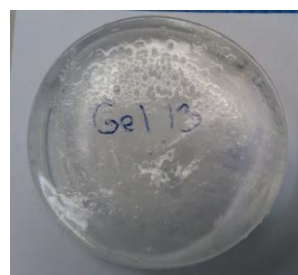
การทดลองต่อไปจึงจะทำการเตรียมมอนอเมอร์ให้เป็นกลางเลยโดยการผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสารละลาย AA ในอัตราส่วนโมลเท่ากันซึ่งจะได้เป็นโซเดียมอะคริเลต (NaAA) ซึ่งเป็นเกลือโซเดียมของ AA ที่มีความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 7 ซึ่งมีความเป็นกลางเหมาะสำหรับการเป็นสารตั้งต้นในการนำมาเตรียมเป็นเจลสำหรับกันแผลกดทับ.

ตารางที่ 3.4 ลักษณะไฮโดรเจลจาก AA ที่เตรียมได้

สูตร	ลักษณะเจล
Gel-AA1	เจลใส แข็งและแตกง่าย
Gel-AA2	เจลมีสีขาวขุ่น แข็ง
Gel-AA3	เจลมีสีขาวขุ่น แข็งส่วนภายนอกฉีกออกง่าย
Gel-AA4	เจลมีสีขาว แข็ง ไม่ยืดหยุ่น
Gel-AA5	เจลมีสีขาวแข็งมาก ไม่ยืดหยุ่น
Gel-AA6	เจลใส แข็งและแตกง่าย
Gel-AA7	เจลใส แข็งและแตกง่าย
Gel-AA8	เจลใส แข็งและแตกง่าย
Gel-AA9	เจลใส แข็งและแตกง่าย
Gel-AA10	เจลใส มีความยืดหยุ่น
Gel-AA11	เจลใส นุ่ม และมีความยืดหยุ่น
Gel-AA12	เจลใส นุ่ม และมีความยืดหยุ่น



ก



ข

รูปที่ 3.16 ลักษณะไฮโดรเจล ก. Gel-AA1 ข. Gel-AA11.

3.4 ผลการเตรียมไฮโดรเจลจากโซเดียมอะคริเลต (NaAA)

ในการเตรียมไฮโดรเจลจาก NaAA หลังจากผสมส่วนผสมทั้งหมดยกเว้น 10 เปอร์เซ็นต์ APS แล้วต้องทำการเช็คความเป็นกรด-เบสก่อน โดยค่าความเป็นกรด-เบส ควรจะอยู่ที่ 7 ซึ่งเป็นกลาง ถ้าส่วนผสมเป็นกรดมากเกินไปให้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ถ้าส่วนผสมเป็นเบสมากเกินไปให้เติม AA ลงไปปรับ เมื่อส่วนผสมมีค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมแล้วจึงนำส่วนผสมไปใส่ภาควาศด้วยการเติมก๊าซไนโตรเจน แล้วจึงเติม 10% APS ลงไปแล้วจึงเติมก๊าซไนโตรเจนลงไปอีกประมาณ 30 วินาที เมื่อปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันแบบเชื่อมขวางเกิดขึ้น สารละลายจะมีความร้อนเกิดขึ้นจากอุณหภูมิห้องไปที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส และสารละลายจะเริ่มข้นจนกลายเป็นเจล เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสิ้นเจลจะค่อยๆ เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง เจล Gel-Na.AA1-Gel-Na.AA7 ที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีความยืดหยุ่น ลักษณะเจล ดังแสดงในรูปที่ 3.17 เจลที่ได้มีลักษณะคล้ายกับเจลที่ได้จากทางการค้า คือมีความนุ่มยืดหยุ่นสูง เมื่อกดเจลไม่แตก. นอกจากนี้เจลที่ได้เมื่อเช็คความเป็นกรด-เบสมีค่าเป็นกลาง ทำให้เหมาะที่จะนำมาใช้งานต่อเป็นแผ่นเจลกันแผลกดทับต่อไป.

ตารางที่ 3.5 ลักษณะไฮโดรเจลจาก NaAA

สูตร	ลักษณะเจล	pH
Gel-Na.AA1	เจลใส อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น กดไม่แตก	7
Gel-Na.AA2	เจลใส อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น กดไม่แตก	7
Gel-Na.AA3	เจลใส อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น กดไม่แตก	7
Gel-Na.AA4	เจลใส อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น กดไม่แตก	7
Gel-Na.AA5	เจลใส อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น กดไม่แตก	7
Gel-Na.AA6	เจลใส อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น กดไม่แตก	7
Gel-Na.AA7	เจลใส อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น กดไม่แตก	7



รูปที่ 3.17 ลักษณะไฮโดรเจลที่เตรียมได้จาก NaAA.

3.4.1 ผลการทดสอบความแข็งแรงกด (Compressive Strength) และความสามารถการคืนตัว

จากการทดลองสมบัติความแข็งแรงกดของเจล พบว่า ไม่มีการแตกของตัวอย่างเจลหลังการทดสอบ เมื่อนำหัวกดออกและปล่อยทิ้งไว้สักพัก ตัวอย่างเจลทั้งหมดสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้ ความแข็งแรงกดของตัวอย่างเจลอยู่ในช่วง 0.01-0.17 เมกะพาสคัล ซึ่งแต่ละสูตรของตัวอย่างเจลมีค่าความแข็งแรงกดที่แตกต่างกัน เจลที่มีค่าความแข็งแรงกดมากจะสามารถรับแรงกดได้ดีกว่าเจลที่มีค่าความแข็งแรงกดน้อย. อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างเจลที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีค่าความแข็งแรงกดที่น้อยกว่าแผ่นรองกันแผลกดทับจากห้องตลาดเล็กน้อย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.14 เมกะพาสคัล แต่สูตรเจล A112 มีค่าความแข็งแรงกดสูงกว่าเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างเจล A112 มีสมบัติความแข็งแรงกดเทียบเท่าแผ่นรองกันแผลกดทับจากห้องตลาด.

เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างเจล พบว่า เจลที่เตรียมได้สามารถคืนตัวได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านการกดด้วยหัวกดที่มีน้ำหนัก 5 กิโลนิวตัน (ประมาณ 510 กิโลกรัม) นาน 3 นาที และเมื่อปล่อยไว้นานกว่า 5 นาที ตัวอย่างเจลสามารถคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิมได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแผ่นรองกันแผลกดทับจากห้องตลาดสามารถคืนกลับสู่รูปร่างเดิมได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์.

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบความแข็งแรงกด (Compressive Strength) และความสามารถการคืนตัว

สูตร	Compressive strength (MPa)	ความสามารถการคืนตัว (%)
Gel-Na.AA1	0.17	93.87
Gel-Na.AA2	0.04	93.30
Gel-Na.AA3	0.07	88.21
Gel-Na.AA4	0.07	90.44
Gel-Na.AA5	0.01	91.78
Gel-Na.AA6	0.01	90.07
Gel-Na.AA7	0.02	95.58
แผ่นรองกันแผลกดทับจากห้องตลาด	0.14	99.98

3.4.2 ผลการทดสอบการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังการสังเคราะห์และหลังอบ

ไฮโดรเจลที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และหลังจากการสังเคราะห์นำมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมและนำไปแช่ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการบวมตัวของไฮโดรเจล ผลการศึกษาการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังสังเคราะห์และหลังอบ, ดังแสดงในตารางที่ 3.7 และ 3.8. จากการศึกษการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังจากการสังเคราะห์พบว่ามี % Mass swelling

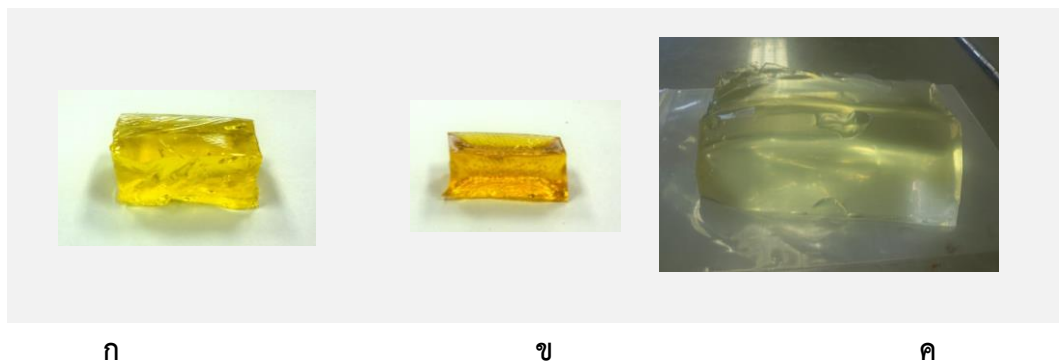
มากกว่า 1,000 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเจลที่สังเคราะห์ได้ชอบน้ำและสามารถอุ้มน้ำได้ดี ส่วนไฮโดรเจลที่มีการอบหลังจากการสังเคราะห์พบว่ามือน้ำหนักหายไป 61 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่ามีน้ำอยู่ในเจลหลังการสังเคราะห์มากกว่า 61 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำไฮโดรเจลที่อบแล้วไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงพบว่าไฮโดรเจลมี % Mass Swelling มากกว่า 2,600 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเจลหลังสังเคราะห์, หลังอบและหลังแช่น้ำ, ดังแสดงในรูปที่ 3.18.

ตารางที่ 3.7 การศึกษาการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังการสังเคราะห์

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนักหลังแช่ (กรัม)	% Mass Swelling
1	11.20	138.09	1133
2	11.38	137.54	1109
3	9.96	142.70	1328
ค่าเฉลี่ย			1190

ตารางที่ 3.8 การศึกษาการบวมตัวของไฮโดรเจลหลังอบ

ครั้งที่	น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	% น้ำหนักน้ำที่ หายไปหลังอบ	น้ำหนัก หลังแช่ (กรัม)	% Mass Swelling
1	11.70	4.46	61.88	126.54	2737
2	12.45	4.82	61.29	131.30	2624
3	10.75	4.15	61.40	131.00	3057
ค่าเฉลี่ย			61.52		2806

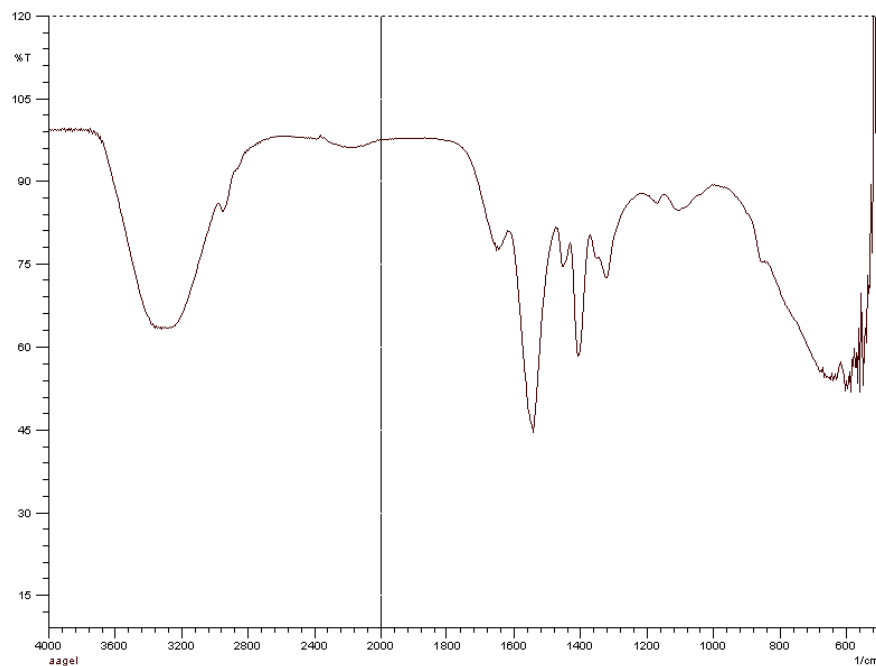


รูปที่ 3.18 ลักษณะเจล ก. หลังการสังเคราะห์ ข. หลังการอบ ค. หลังการแช่น้ำ.

3.4.3 ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมีของไฮโดรเจลด้วยเครื่อง FTIR

นำไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้มาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำส่วนใหญ่บนผิวหน้าของเจลระเหยออกไปและสามารถนำมาวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค ATR-FTIR ได้ง่ายกว่าการอบจนเจลแห้งปราศจากน้ำ เนื่องจากถ้าอบจนไม่มีน้ำเหลืออยู่ในเจล จะทำให้เจลแข็งเกินไปจนไม่สามารถแนบไปกับผลึกของหัว ATR-FTIR.

FTIR สเปกตรัมของไฮโดรเจล ดังแสดงในรูปที่ 3.19 และผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี, ดังแสดงในตารางที่ 3.9.



รูปที่ 3.19 FTIR สเปกตรัมของไฮโดรเจล.

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไฮโดรเจล

ความยาวคลื่น (cm ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3300	O-H จากน้ำในเจล
2900	C-H, CH ₂
1640	C=O acrylamide
1540	COO ⁻ , COONa
1410	COO ⁻ , COONa
1500-1300	C-H, CH ₂
1200-1000	C-OH, C-O-C, C-O

3.4.3 ผลการศึกษาการ Up Scale โซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจลสำหรับการเตรียมแผ่นเจลกันแผลกตทับ

ทำการ up scale ในการสังเคราะห์โซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจลสำหรับการเตรียมแผ่นเจลสำหรับกันแผลกตทับ โดยเตรียมเจลให้มีขนาด 16x24 เซนติเมตร หนา 2.2 เซนติเมตร มีปริมาตรของส่วนผสมรวมกันเท่ากับ 850 มิลลิลิตร, ส่วนผสมมีการเติมสีผสมเพื่อเพิ่มความสวยงาม โดยใช้โมลด์เป็นถาดพลาสติก, ดังแสดงในรูปที่ 3.20 เนื่องจากเจลมีความอ่อนนุ่มเมื่อน้ำหนักมากถ้าจับเจลโดยตรงเจลจะมีการยืดและไม่คงรูป จึงจำเป็นต้องมีแผ่นพลาสติกรองเป็นฐาน เพื่อที่จะสะดวกในการยกออกจากโมลด์และไม่ทำให้เจลเสียรูป ผลจากการ up scale พบว่าเจลที่ได้มีความอ่อนนุ่ม, ยืดหยุ่น, กตไม่แตก เมื่อออกจากโมลด์ยังสามารถคงรูปได้ดี ลักษณะเจลหลังออกจากโมลด์, ดังแสดงในรูปที่ 3.20.



ก

ข

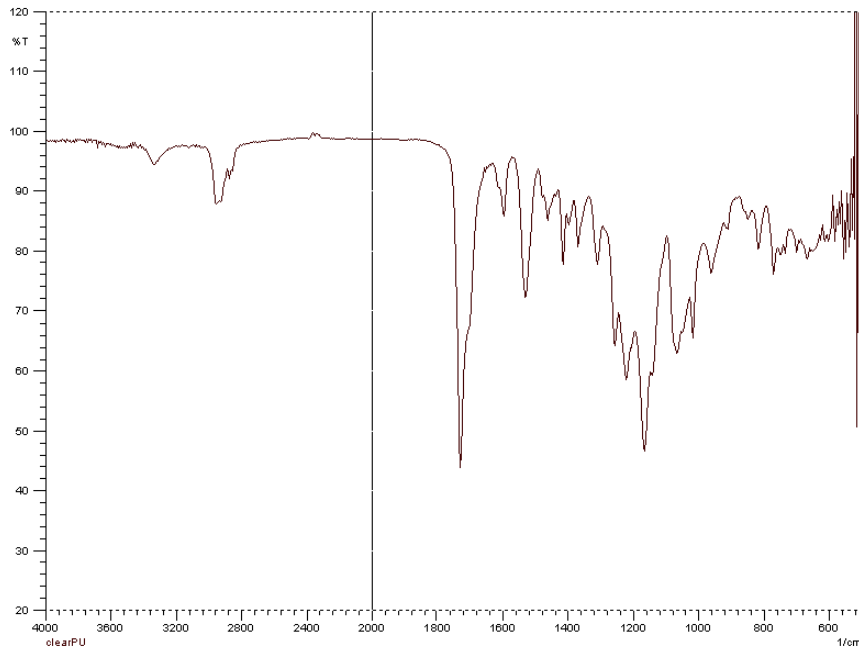
รูปที่ 3.20 ก. การขึ้นรูปเจลในโมลด์พลาสติก ข. เจลหลังจากนำออกจากโมลด์.

3.5 ผลการศึกษาการเตรียมแผ่นรองกันแผลกตทับของโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล

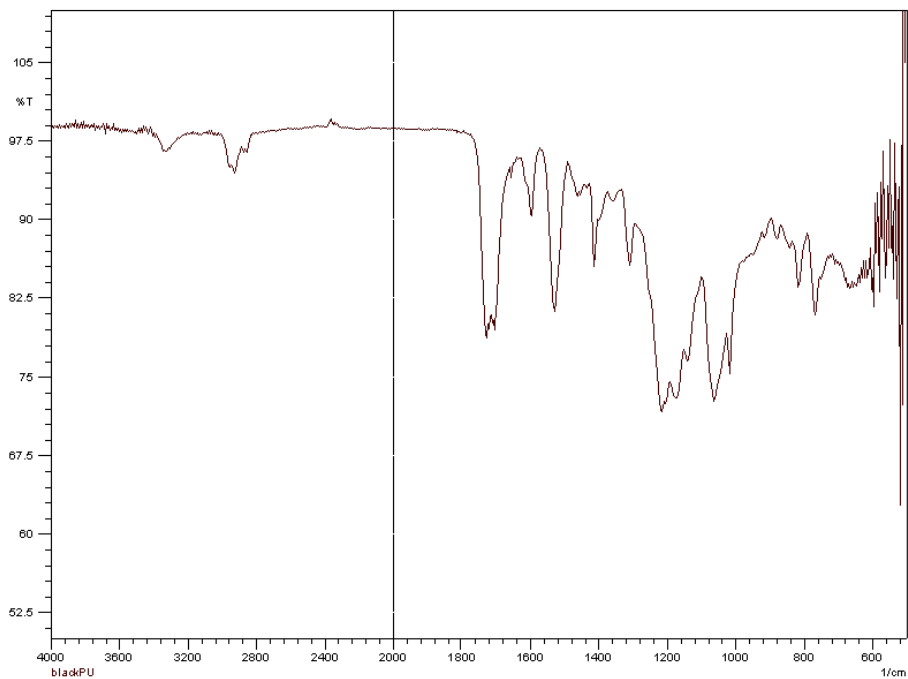
เมื่อได้สูตรไฮโดรเจลจากโซเดียมอะคริเลตที่ต้องการแล้ว เนื่องจากว่าไฮโดรเจลที่ได้มีส่วนประกอบสำคัญเป็นน้ำดังนั้นจึงต้องมีการซิลเจลด้วยฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของไฮโดรเจล เริ่มต้นเลือกใช้ฟิล์มพลาสติก 6 ชนิด ได้แก่

1. ฟิล์มพอลิยูรีเทน ไส หนา 0.15 มิลลิเมตร (PU-หนา).
2. ฟิล์มพอลิยูรีเทน บางสีดำ หนา 0.05 มิลลิเมตร (PU-บาง).
3. ฟิล์มพอลิไวนิล คลอไรด์ chloride หนา 0.01 มิลลิเมตร (PVC).
4. ฟิล์มจากถุงใส หนา 0.1 มิลลิเมตร.
5. ฟิล์มจากถุงซิปป หนา 0.1 มิลลิเมตร.
6. ฟิล์มพอลิเอทิลีน (PE) หนา 0.015 มิลลิเมตร (PE-บาง)

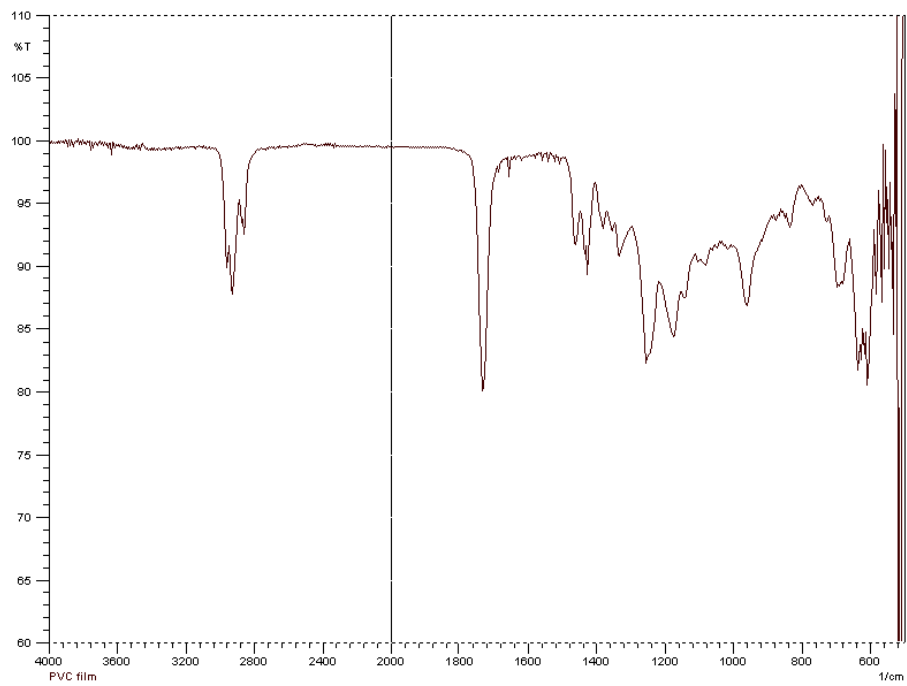
เพื่อคอนเฟิร์มชนิดของฟิล์มพลาสติกแต่ละชนิด จึงนำฟิล์มไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ จากผล FTIR พบว่า ฟิล์มจากถุงใสทำมาจากพลาสติกชนิด พอลิโพรพิลีน (PP) และ ฟิล์มจากถุงซิปทำมาจากพลาสติกชนิด พอลิเอทิลีน (PE) ส่วนฟิล์มชนิดอื่น ๆ ผลของ FTIR สเปกตรัมก็สอดคล้องกับชนิดของฟิล์มนั้นๆ.



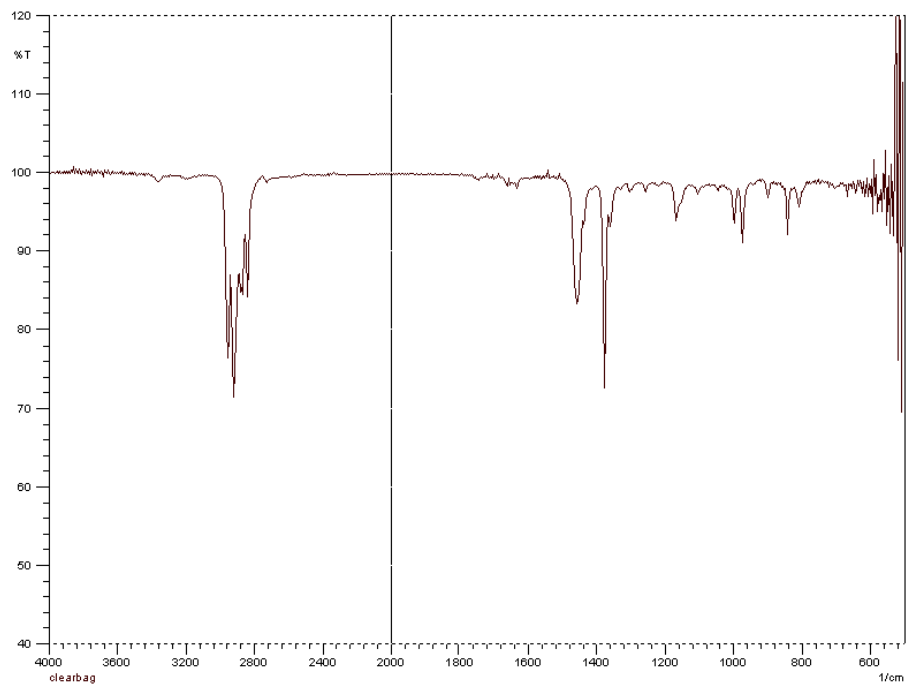
ฟิล์ม PU-หนา



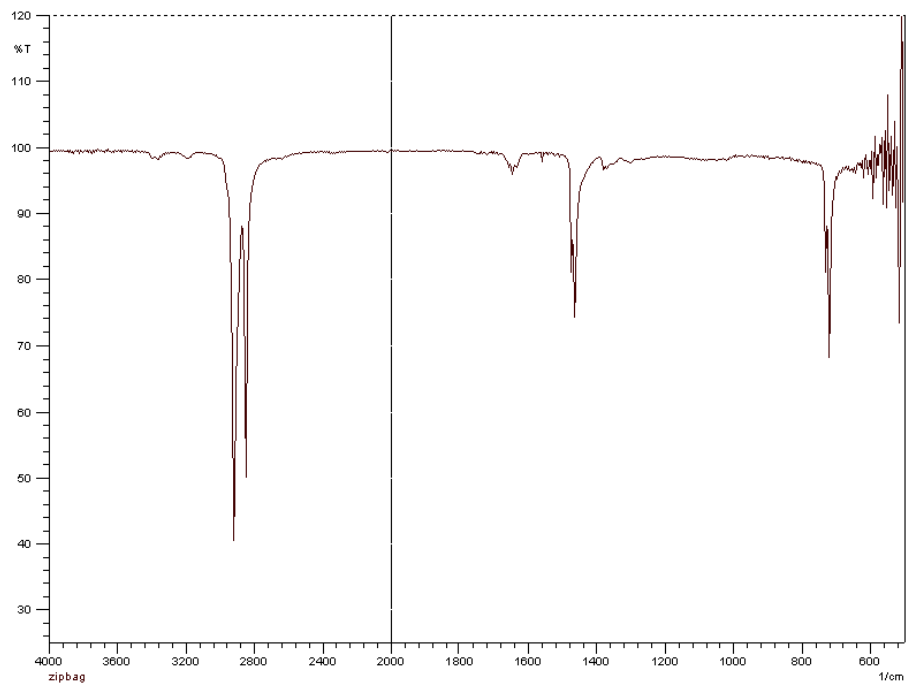
ฟิล์ม PU-บาง



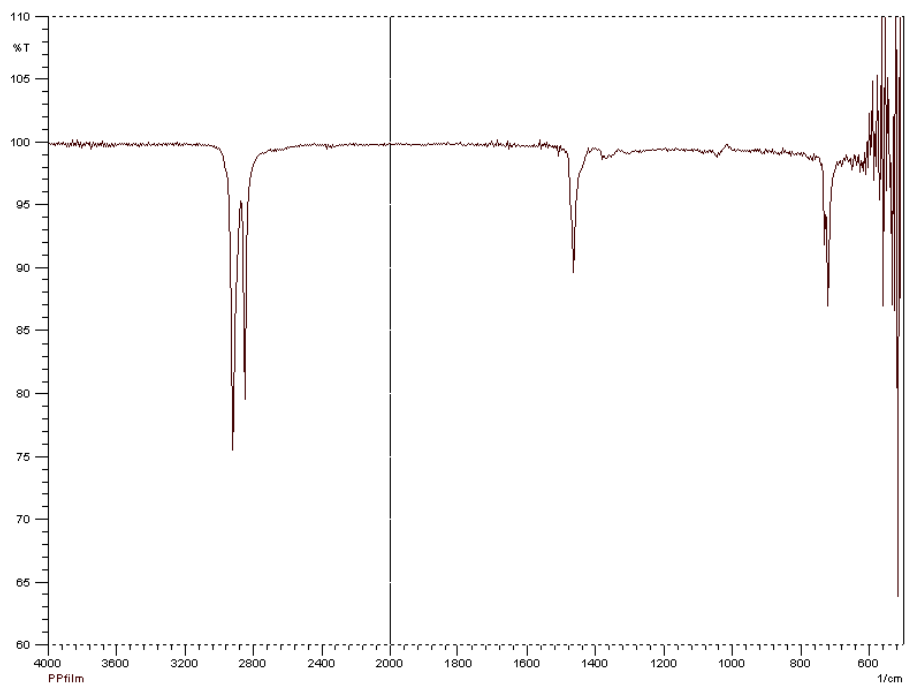
ฟิล์ม PVC



ฟิล์ม Clear bag



ฟิล์ม Zip bag



ฟิล์ม PE

รูปที่ 3.21 FTIR สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้ในการซีลไฮโดรเจล.

3.5.1 ผลการศึกษาสมบัติของแผ่นไฮโดรเจล

- ผลการศึกษาการระเหยของน้ำจากแผ่นไฮโดรเจลเมื่อใช้ฟิล์มแบบต่าง ๆ

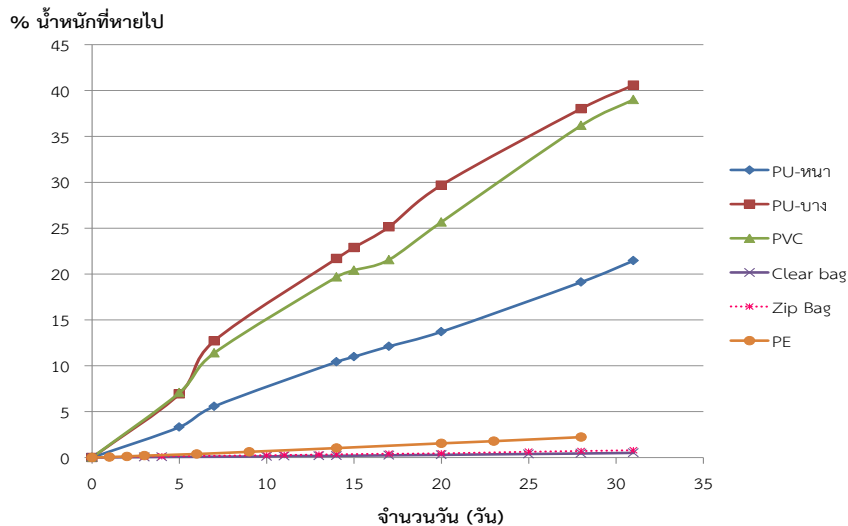
ผลการศึกษาการระเหยของน้ำจากแผ่นไฮโดรเจลเมื่อซีลด้วยฟิล์มแบบต่างๆ เป็นเวลาประมาณ 30 วัน, ดังแสดงในรูปที่ 3.22 จากผลการทดลองพบว่า ฟิล์ม PU-บางและฟิล์ม PVC จะมีน้ำระเหยออกเป็นจำนวนมาก โดยพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 30 วัน น้ำหนักของฟิล์มหายไปถึงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ถึงแม้ว่าฟิล์ม 2 ชนิด นี้จะมีความยืดหยุ่นสูงและให้ผิวสัมผัสของฟิล์มที่นุ่ม แต่เนื่องจากไม่มีความสามารถในการกั้นน้ำระเหยออกได้ จึงไม่สามารถใช้ฟิล์ม 2 ชนิดนี้ในการหุ้มไฮโดรเจลสำหรับแผ่นเจลกันแผลกดทับได้ ลักษณะของแผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วย PU-บางและ PVC หลังจากผ่านไป 30 วัน, ดังแสดงในรูปที่ 3.23 โดยจะเห็นได้ว่าไฮโดรเจลมีขนาดเล็กลงจนเหลือส่วนของฟิล์มที่เป็นอากาศอย่างเห็นได้ชัด ส่วนฟิล์ม PU-หนา หลังจาก 30 วัน พบว่ามีน้ำหนักที่หายไป 20 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่า PU-บาง และ PVC แต่ก็ถือว่ามีกการระเหยของน้ำมากและยังไม่เหมาะกับการนำมาหุ้มเจล.

สำหรับฟิล์ม Clear bag ที่ทำมาจาก PP และ ฟิล์ม Zip bag ที่ทำมาจาก PE พบว่ามีกการระเหยของน้ำน้อยมากหลังจากผ่านไป 1 เดือน มีน้ำระเหยไปน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับฟิล์ม PE ที่เวลาผ่านไป 1 เดือน น้ำหนักของแผ่นเจลหายไปประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ซึ่งจากผลการทดลองนี้ ฟิล์ม Clear bag, Zip bag, PE เหมาะสำหรับการนำมาหุ้มเจลสำหรับเตรียมแผ่นไฮโดรเจล โดยฟิล์ม Zip bag จะให้ผิวสัมผัสที่นุ่มกว่าฟิล์ม Clear bag แต่ว่าฟิล์ม Zip bag หนากว่าฟิล์ม PE มากจึงให้สัมผัสที่แข็งกว่าฟิล์ม PE และทำให้รู้สึกถึงความนุ่มของเจln้อยกว่า. แต่อย่างไรก็ตามฟิล์ม Zip bag และ ฟิล์ม PE ถือว่าเป็นทางเลือกที่ดีที่จะนำมาหุ้มไฮโดรเจลมากที่สุดเนื่องจากว่ามีกการระเหยของน้ำออกจากไฮโดรเจลเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำ.

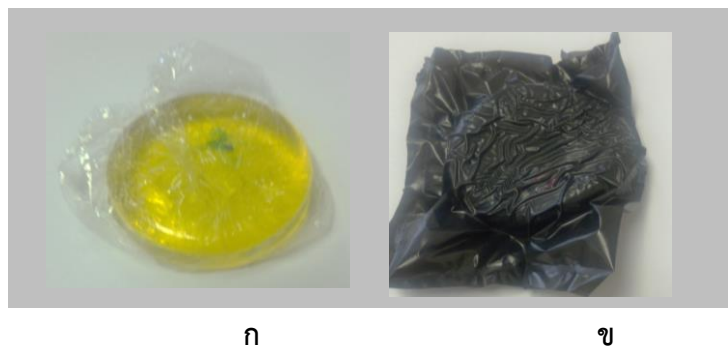
เนื่องจากว่าฟิล์ม PE มีความบางทำให้สามารถสัมผัสได้ถึงความนุ่มและความเย็นของเจลได้มากแต่ว่ายังมีน้ำบางส่วนที่สามารถระเหยออกจากแผ่นฟิล์มได้ ถึงแม้จะมีปริมาณไม่มากแต่ก็ยังสามารถพัฒนาให้มีการระเหยของน้ำลดลงได้อีก จึงได้ทดลองเลือกใช้แผ่นฟิล์ม 2 ชั้นในการห่อเจล โดยชั้นแรกจะเลือกใช้ PE ที่มีความสามารถในการป้องกันการระเหยของน้ำ ชั้นที่สองซึ่งเป็นชั้นนอกจะเลือกใช้ฟิล์ม PVC ซึ่งป้องกันน้ำได้บางส่วนแต่ว่าฟิล์มมีความยืดหยุ่นและมีผิวสัมผัสที่นุ่มเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในการเตรียมเป็นแผ่นไฮโดรเจลกันแผลกดทับ โดยจะทำการทดลองเปรียบเทียบกับการใช้ฟิล์ม PVC 2 ชั้น และเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีการใช้ฟิล์มใดๆ หุ้มไฮโดรเจลเลย ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.24.

จากผลการทดลองพบว่าไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม PE-PVC สามารถกั้นน้ำได้ดีกว่าการหุ้มด้วย PE อย่างเดียว โดยในระยะเวลาประมาณ 30 วัน สามารถลดการระเหยของน้ำจาก 2.2 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 0.8 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม PVC 2 ชั้น สามารถลดการระเหยของน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับหุ้มด้วย PVC ชั้นเดียวโดยลดจาก 40 เปอร์เซ็นต์ เหลือการระเหยของน้ำ 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไฮโดรเจลที่ไม่ได้หุ้มด้วยฟิล์มจะมีการระเหยของน้ำมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยจากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อการระเหยของน้ำมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อัตราการระเหยของน้ำจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด.

จากผลการทดลองการเลือกใช้ฟิล์มในการหุ้มไฮโดรเจลสำหรับป้องกันผลกตทับนี้พบว่า การหุ้มเจลด้วยฟิล์ม PE ทับด้วยฟิล์ม PVC อีกชั้นหนึ่งสามารถป้องกันการระเหยของน้ำที่จะออกจากไฮโดรเจลได้ดี และฟิล์มไม่หนาเกินไปทำให้ยังสามารถสัมผัสผิวสความนุ่มและความเย็นของเจลได้ดี.



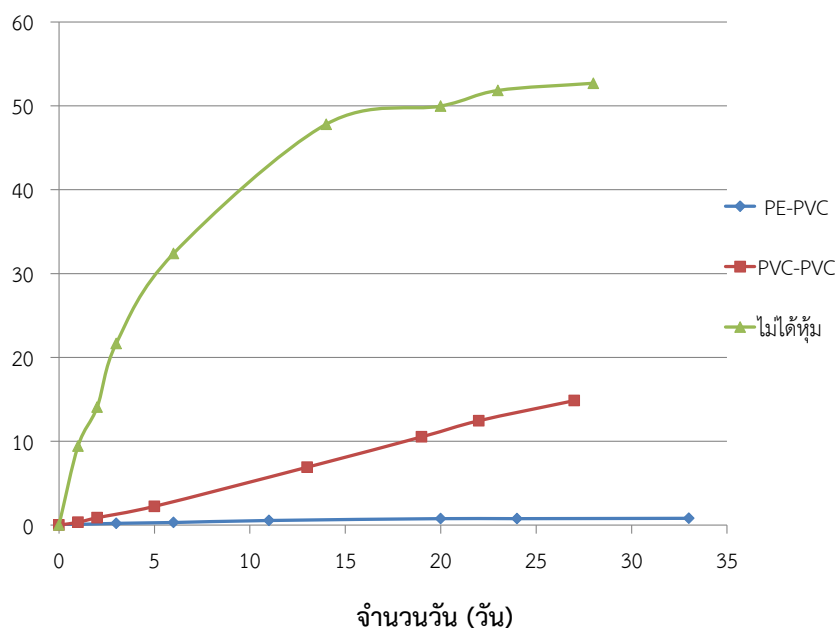
รูปที่ 3.22 น้ำหนักที่หายไปของไฮโดรเจลเมื่อหุ้มด้วยฟิล์มชนิดต่างๆ.



รูปที่ 3.23 ลักษณะของเจลหลังจากการหุ้มด้วยฟิล์มเป็นเวลา 30 วัน

ก. ไฮโดรเจลหุ้มด้วยฟิล์ม PVC ข. ไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม PU-บาง.

% น้ำหนักที่หายไป



รูปที่ 3.24 น้ำหนักที่หายไปของไฮโดรเจลเมื่อหุ้มด้วยฟิล์ม 2 ชั้น.

● ผลการศึกษาการรั่วซึมของแผ่นเจล

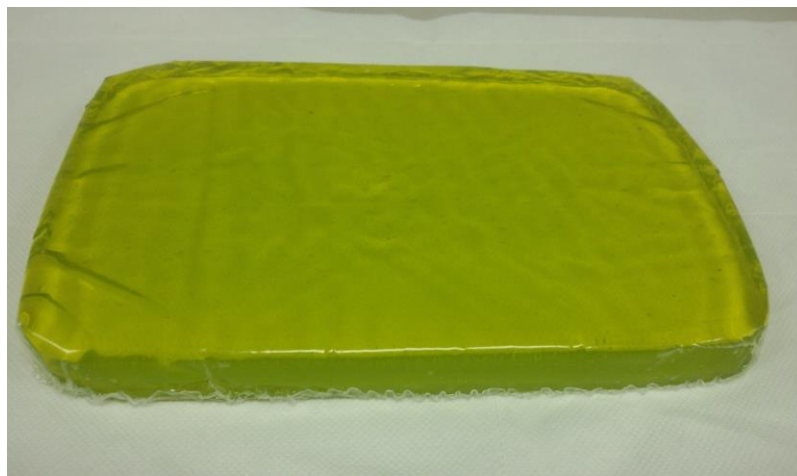
สีผสมอาหารสามารถละลายน้ำได้ดีจึงนำมาใช้ในการทดสอบว่าเมื่อไฮโดรเจลถูกหุ้มด้วยฟิล์มแล้วจะมีการรั่วซึมออกมาจากแผ่นหรือไม่ จึงได้ทดสอบโดยการไฮโดรเจลที่มีการใส่สีผสมอาหารนำมาหุ้มด้วยฟิล์ม PE-PVC และทำการซีลด้วยความร้อนนำมาแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำน้ำมาเช็คค่าความเป็นกรด-เบส และนำมาวัดสีที่รั่วซึมด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy ที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร จากผลการทดลองพบว่าน้ำกลั่นหลังการแช่ไฮโดรเจลมีค่าความเป็นกรด-เบส เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง และพบว่าไม่มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร. แสดงให้เห็นว่าไม่มีสีรั่วซึมออกมาจากแผ่นไฮโดรเจล ผลการทดสอบนี้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อไฮโดรเจล ถูกหุ้มด้วยแผ่นฟิล์ม PE-PVC แล้วจะไม่มีสารรั่วซึมออกมาหลังจากการใช้งาน.

3.5.2 ผลการศึกษาการ up scale แผ่นไฮโดรเจลกันแผลกดทับ

เมื่อได้สูตรเจลและฟิล์มที่เหมาะสมแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการเตรียมแผ่นไฮโดรเจลที่มีการ up scale ขึ้นสำหรับการนำไปประกอบเป็นที่นอนแผ่นไฮโดรเจลกันแผลกดทับหรือการนำไปใช้งานโดยตรง จากการทดลองที่แล้วได้มีการเจลขนาด 16x24 เซนติเมตร หนา 2.2 เซนติเมตร โดยใช้ถาดพลาสติกเป็นโมเดลในการขึ้นรูปไฮโดรเจล เมื่อนำไฮโดรเจลที่อุณหภูมิห้องลงไปถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำมาทดลองโดยการใส่ฟิล์ม 2 แบบ แบบแรกคือฟิล์ม Zip bag แบบที่ 2 คือฟิล์ม PE-PVC ฟิล์มทั้ง

สองแบบจะทำการซีลด้วยความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3.25 แสดงลักษณะของแผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม Zip bag, แผ่นเจลที่หุ้มด้วย PE และ แผ่นเจลที่หุ้มด้วย PE-PVC.

หลังจากได้แผ่นไฮโดรเจลกันแมกนิตทับแล้ว แผ่นไฮโดรเจลทั้ง 2 ชนิด นำไปทดสอบการระเหยของน้ำเป็นเวลา 34 วัน เพื่อทดสอบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของแผ่นไฮโดรเจลจะมีผลต่อการระเหยของน้ำหรือไม่ โดยผลการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 3.10 ซึ่งผลการศึกษาพบว่าน้ำหนักของแผ่นไฮโดรเจลเมื่อผ่านไปเป็นเวลา 34 วัน มีน้ำหนักลดลงเพียงเล็กน้อยประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์.



ก



ข

รูปที่ 3.25 ลักษณะของ ก. แผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม Zip bag.
ข. แผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม PE.



ค

รูปที่ 3.25 (ต่อ) ค. แผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม PE-PVC.

ตารางที่ 3.10 น้ำหนักของแผ่นไฮโดรเจลที่หุ้มด้วยฟิล์ม Zip bag หรือ PE-PVC เป็นเวลา 34 วัน

วันที่	น้ำหนักของแผ่นไฮโดรเจล (กิโลกรัม)	
	Zip bag	PE-PVC
0	0.87	0.9
3	0.87	0.9
5	0.87	0.9
6	0.87	0.9
11	0.87	0.9
18	0.87	0.9
21	0.87	0.89
25	0.86	0.89
34	0.86	0.89

หลังจากได้แผ่นไฮโดรเจลที่เหมาะสมกับการใช้เป็นแผ่นรองกันแผลกดทับแล้ว โดยแผ่นเจลที่ได้สามารถนำมาใช้ได้เลยหรือจะนำมาประกอบเป็นที่นอนเพื่อใช้สำหรับเป็นที่นอนกันแผลกดทับ โดยที่นอนไฮโดรเจลกันแผลกดทับที่ได้เตรียมในงานวิจัยนี้มีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.26 โดยที่นอนจะมีความกว้าง x ยาว เท่ากับ 79x54 เซนติเมตร สามารถเพิ่มจำนวนที่นอนได้ตามความสูงของผู้ป่วยหรือสามารถนำมาใช้เฉพาะส่วนของร่างกาย.



รูปที่ 3.26 ลักษณะของที่นอนไฮโดรเจลกันแผลกดทับ.

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองเตรียมเจลกันแผลกดทับโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นสารตั้งต้นพบว่า ไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์ Crosslink agent ที่ใช้ ซึ่งคุณสมบัติของไฮโดรเจล PVA ที่เตรียมขึ้น, ดังแสดงในตารางที่ 3.11 การนำไฮโดรเจลไปใช้งานจำเป็นต้องหุ้มด้วยฟิล์มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในโมเลกุล โดยจากการทดลองพบการหุ้มด้วยพอลิเอทิลีนให้ผลการทดลองที่ดีในการป้องกันการระเหยของน้ำจากไฮโดรเจล.

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะและสมบัติของไฮโดรเจล PVA

คุณสมบัติ	Crosslink agent	
	ฟอร์มาลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์	Glutaraldehyde
สารริเริ่มปฏิกิริยา	HCl	-
Annealing ที่อุณหภูมิ	50°C./24 ชม.	50°C./48 ชม.
ความสามารถในการแข็งกต	0.28 เมกะพาสคัล	0.46 เมกะพาสคัล
ความสามารถในการคืนตัว	99.50 เปอร์เซ็นต์	99.32 เปอร์เซ็นต์
%Mass swell หลังอบที่ 50°C./24ชม. (90 ชม.)	-40% (หลังแช่ PG)	220.30 %
%Mass swell หลังการสังเคราะห์ (90 ชม.)	-20 % (หลังแช่ PG)	45.50 %
pH	5-6	6-7
ราคา (เฉพาะค่าวัตถุดิบโดยประมาณ)	6 บาท/ลบ.ชม.	4 บาท/ลบ.ชม.

จากการพัฒนาแผ่นเจลป้องกันการเกิดแผลกดทับที่เกิดจากปฏิกิริยาเชื่อมขวางของเกลือโซเดียมของสารประเภทกรดอะคริลิก โดยมีส่วนผสม ได้แก่ เกลือของโซเดียมของสารประเภทกรดอะคริลิก, สารประเภทไดเอมีน, สารเมทิลลีนบิสเอซิลเอไมด์, สารแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต และน้ำ คุณลักษณะและคุณสมบัติของไฮโดรเจลจากโซเดียมอะคริเลต, ดังแสดงในตารางที่ 3.12 โดยไฮโดรเจลที่ได้จะนำมาหุ้มด้วยฟิล์ม Zip bag ซึ่งเป็น PE ที่มีความหนา หรือใช้ฟิล์มบาง PE-PVC เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ โดยแผ่นไฮโดรเจลที่ได้สามารถนำมาใช้ในการป้องกันแผลกดทับได้เลย หรือนำมาหุ้มด้วยผ้า หรือนำมาประกอบเป็นแผ่นรองนั่ง หรือ แผ่นรองนอน โดยแผ่นไฮโดรเจลที่ได้จากการประดิษฐ์นี้มีข้อดีที่แตกต่างจากเจลที่ทำมาจากซิลิโคนหรือพอลิยูรีเทน คือมีความเย็นเนื่องจากมี

น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีและรู้สึกเย็นสบายเมื่อใช้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นเช่นเป็นที่นอนเย็นได้อีกด้วย.

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติและสมบัติของโซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล

คุณสมบัติ	
สารตั้งต้น	โซเดียมอะคริเลต
ผลิตภัณฑ์	โซเดียมอะคริเลตไฮโดรเจล
Annealing ที่อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้อง
ความสามารถในการแข็งกต	0.01-0.17 เมกะพาสคัล
ความสามารถในการคืนตัว	>90% หลังจาก 3 นาที >99% หลังจาก 5 นาที
%Mass swell หลังอบที่ 50°C./24 ชม.	2806%
%Mass swell หลังการสังเคราะห์ (24 ชม.)	1190%
pH	7
ราคา (เฉพาะค่าวัตถุดิบโดยประมาณ)	0.5/ลบ.ชม.

5. แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

5.1 ผลผลิตที่ได้จากโครงการ

5.1.1 กระบวนการสังเคราะห์ไฮโดรเจลสำหรับเตรียมแผ่นเจลกันแผลกดทับ

5.1.2 แผ่นไฮโดรเจลสำหรับป้องกันแผลกดทับ ที่เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นรองกันแผลกดทับที่มีความนุ่มและความยืดหยุ่น รวมถึงมีความเย็นสามารถระบายความร้อนได้ดี มีราคาถูกกว่าท้องตลาด (ในขณะที่ใช้ Lab grade ถ้าในอนาคตเปลี่ยนมาใช้เป็น industry grade จะมีราคาของผลิตภัณฑ์ถูกกว่านี้) สามารถนำมาพัฒนาเพื่อใช้สำหรับผู้ป่วยหรือผู้สูงอายุที่มีปัญหาด้านการเคลื่อนไหว ผู้ป่วยนอนติดเตียง ผู้ป่วยผ่าตัด สามารถทดแทนการนำเข้าและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับโรงพยาบาล และผู้ป่วยได้.

5.1.3 ยื่นจดสิทธิบัตร จำนวน 1 เรื่อง (แผ่นไฮโดรเจลสำหรับป้องกันแผลกดทับ)

5.2 กลุ่มเป้าหมายการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 5.1 กลุ่มเป้าหมาย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ รูปแบบการนำไปใช้ประโยชน์ ผลลัพธ์และผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

กลุ่มเป้าหมาย (ภาคอุตสาหกรรม/ บริการ/สังคมชุมชน)	หน่วยงานที่ เกี่ยวข้องกับการ นำผลงานวิจัยไป ใช้ประโยชน์	รูปแบบการ นำไปใช้ประโยชน์/ การนำไปต่อยอด ให้เกิดมูลค่าเพิ่ม	ผลลัพธ์จากการ นำไปใช้ ประโยชน์	ผลกระทบที่คาดว่าจะ เกิดขึ้นทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม
ผู้ประกอบการ อุตสาหกรรมที่ผลิต สินค้าที่เกี่ยวข้องกับ ทางการแพทย์/ ผลิตภัณฑ์สำหรับ ผู้สูงอายุ/ ผลิตภัณฑ์ สำหรับผู้มีปัญหาด้าน การเคลื่อนไหว	สำนักงานส่งเสริม ธุรกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม ผู้ประกอบการธุรกิจ ขนาดกลางและ ขนาดย่อม	นำกระบวนการการ ผลิตแผ่นไฮโดรเจล กันแผลกดทับไปต่อ ยอดการผลิตใน ระดับอุตสาหกรรม เพื่อที่จะได้เป็น ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใน ประเทศ	- เพิ่มโอกาสใหม่ และขยายธุรกิจ ประโยชน์	- ส่งเสริมให้มี อุตสาหกรรมทาง การแพทย์เพิ่มขึ้นใน ประเทศ - ลดการนำเข้า ผลิตภัณฑ์จาก ต่างประเทศ - ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีราคา ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ใน ท้องตลาด

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

กลุ่มเป้าหมาย (ภาคอุตสาหกรรม/ บริการ/สังคมชุมชน)	หน่วยงานที่ เกี่ยวข้องกับ นำผลงานวิจัยไป ใช้ประโยชน์	รูปแบบการ นำไปใช้ประโยชน์/ การนำไปต่อยอด ให้เกิดมูลค่าเพิ่ม	ผลลัพธ์จากการ นำไปใช้ ประโยชน์	ผลกระทบที่คาดว่าจะ เกิดขึ้นทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม
สถานพยาบาล	โรงพยาบาลและ สาธารณสุข	มอบให้บุคลากร ทางการแพทย์ให้นำ ผลิตภัณฑ์ไป ทดลองใช้งาน	เป็นทางเลือก สำหรับ สถานพยาบาลที่ สามารถเลือกใช้ ผลิตภัณฑ์ที่ พัฒนาใน ประเทศ ซึ่งมี ราคาถูกกว่า ผลิตภัณฑ์ใน ท้องตลาด	- ทำให้ผู้ป่วยที่มีปัญหา ด้านการเคลื่อนไหว/ ผู้ป่วยสูงอายุ/ ผู้ป่วยติด เตียง/ผู้ป่วยผ่าตัด มี คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นและ สามารถเข้าถึง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ได้ง่ายขึ้น - ทำให้โรงพยาบาล สามารถจัดหาผลิตภัณฑ์ สำหรับผู้ป่วยเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการ ดูแลและรักษาพยาบาล ผู้ป่วยให้ดีและทั่วถึงขึ้น
สถาบันการศึกษาและ หน่วยงานด้านการ วิจัย	สถาบันการศึกษา และหน่วยงานด้าน การวิจัย	นำความรู้ที่ได้ไป พัฒนาหรือต่อยอด การวิจัย	เพิ่มฐานข้อมูล ด้านงานวิจัย ทางด้าน ผลิตภัณฑ์ทาง การแพทย์	องค์ความรู้ด้านงานวิจัย เพื่อนำไปใช้ในการ พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มี ประสิทธิภาพสูงขึ้นใน อนาคต

กลุ่มเป้าหมาย หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ รูปแบบการนำไปใช้ประโยชน์ ผลลัพธ์ และผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น แสดงในตารางที่ 5.1

กลุ่มเป้าหมายด้านอุตสาหกรรม คือ ผู้ประกอบการที่ผลิตสินค้าที่เกี่ยวข้องกับทางแพทย์/ ผู้สูงอายุ ที่สามารถตอบโจทย์ผู้ป่วยที่มีปัญหาทางการเคลื่อนไหว ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยนอนติดเตียง รวมถึงผู้ป่วยผ่าตัด โดยเฉพาะผู้สูงอายุที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสังคมไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุเต็มตัวในปี 2568 นอกจากนี้อุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์ก็อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นสูงทุกปี ปีละไม่น้อยกว่า 10เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นโอกาสของผู้ประกอบธุรกิจที่จะขยายตัว

ทางด้านธุรกิจรวมถึงการประกอบธุรกิจใหม่ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้เกิดอุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์เพิ่มขึ้นในประเทศ ลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศและสามารถผลิตแผ่นรองกันแผลกดทับที่มีราคาไม่แพงออกมาจำหน่าย ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่สามารถให้ข้อมูลทางด้านธุรกิจคือสำนักงานส่งเสริมธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม.

กลุ่มเป้าหมายด้านสถานพยาบาล คือ โรงพยาบาลและสาธารณสุข โดยมีหน่วยงานที่ผลิตแผ่นไฮโดรเจลกันแผลกดทับไปมอบให้กับบุคลากรทางการแพทย์ เพื่อให้ทดลองใช้งานจริงกับผู้ป่วยที่มีปัญหาทางด้านการเคลื่อนไหว ผู้สูงอายุ ผู้ป่วยนอนติดเตียง ทำให้สามารถยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยได้ เนื่องจากการเกิดแผลกดทับจะเป็นการซ้ำเติมผู้ป่วยและอาจเกิดการติดเชื้อจนเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจลกันแผลกดทับที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถทำให้ผู้ป่วยเข้าถึงผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น รวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้แก่สถานพยาบาลและโรงพยาบาลในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นในประเทศ.

กลุ่มเป้าหมายด้านการวิจัย คือ สถาบันการศึกษาและสถาบันการวิจัย โดยนำความรู้ที่ได้ไปใช้พัฒนาหรือต่อยอดงานวิจัย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต.

6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเกรดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงทำให้มีราคาแพง ในการพัฒนาต่อไปควรจะหาสารเคมีที่เป็นเกรดอุตสาหกรรมซึ่งราคาจะถูกกว่ามาก แต่อาจต้องมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมและสภาวะที่ใช้ในการทดลองเล็กน้อย นอกจากนี้ในการวิจัยต่อไปอาจจะเปลี่ยนรูปแบบเจลให้เหมาะกับการใช้งานแบบต่างๆ มากขึ้น และสามารถเปลี่ยนจากแผ่นฟิล์มที่ใช้หุ้มมาใช้ยางพาราเป็นแม่แบบแทน.

7. เอกสารอ้างอิง

- เจลรองนั่งแบบปุ่น [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.kthomecare.com> [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2558].
- แผลกดทับ คืออะไร??? ทำไมจึงเกิด ??? 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.drugs.com/health-guide/bedsoresdecubitus-ulcers.html>. [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2558].
- ศิริปัญญาวัฒน์, ศิริลักษณ์. 2556. Best Practice in Pressure Ulcer assessment. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก www.si.mahidol.ac.th. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2556].
- DMC. Tv. 2548. ระดับของแผลกดทับ. 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: [http://health.dmc.tv/i^hmyoFi80kd4k;t4kp.oijk'dkp-353/cz\]dfmy\[.html](http://health.dmc.tv/i^hmyoFi80kd4k;t4kp.oijk'dkp-353/cz]dfmy[.html), [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2558].
- Graves, D.J. Park, R. and Ritchey, C.R. 1975. Process for making a polyvinyl alcohol gel support pad, United States Patent 3858379.
- Graves, D.J., Park, R. and Ritchey, C.R., 1975. Process for making a polyvinyl alcohol gel support pad, United States Patent 3858379.
- Gohill, J.M. Bhattachaya, and Ray, A. P., 2006. Studies on the cross-linking of poly(vinyl alcohol, *Journal of Polymer Research*, Vol. **13**, pp. 161-169.
- Karagas, E. and Saraydin, D. 1997. Influence of some crosslinkers on the swelling of acrylamide-crotonic acid hydrogel, *J. of Chemistry*, 21, pp.151-161.
- Michi, P.R., and Walker, A.H., 1975. Freeze-dried polyvinyl alcohol, United States Patent 4472542.
- Nature Foam. 2010. การเกิดแผลกดทับและการดูแลรักษา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.naturefoam.com/index.php?lay=show&ac=article&id=319253>. [เข้าถึงเมื่อ 20 ตุลาคม 2556].
- Reddy, M. Gill, S.S. and Rochon, P.A., 2006. Preventive Pressure Ulcers: A Systematic Review, *American Medical Association*, **296**(8), pp. 974-984.
- Surface. 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.cmu.edu/maty/images_for-page11/11h-lcst-6.jpg [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2558].
- Semi-IPN hydrogel. 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://cdn.iopscience.com/images/1748605X/7/3/035014/Full/bmm410144un01_online.jpg [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2558].

- Slime. 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.sci-experiments.com/slime/slime.html> [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2558].
- Tanaka, M., and Sato, K., 2010. Silicone gel composition, United States Patent 7829648.
- Thermo Fisher Scientific Inc. 2015. Pierce Protein Research Products, Chemistry of Crosslinking, [online]. Available at: www.piercenet.com, [accessed 14 May 2015].
- Tomokasu, K. and Toshio, M., 2009. Method of preparing polyvinyl alcohol gel, United States Patent 5141973.
- Ultrathin, 2558. Biocompatible and biodegradable hydrogel films for corneal endothelium Regeneration. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://apps.eng.Unimelb.edu.au/research-projects/index.php?r=site/webView&id=112> [เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2558].