การพัฒนาแผ่นแปะผิวหนังที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสำหรับบรรเทาอาการฟกช้ำ

นางสาวกมลพร คงนิลมณี 5136503933

นายน้ำเต้ สีหมากสุก 5136591033

นางสาวปวีณา ตั้งเลิศวิชชา 5136606933

โครงการปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

เภสัชศาสตรบัณฑิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

Development of thermally modified topical patch for contusive relief

Miss	Kamonporn	Kongninmanee	5136503933
Mister	Namte	Seemaksook	5136591033
Miss	Paweena	Thanglertvicha	5136606933

A Senior Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Bachelor of Science in Pharmaceutical Sciences Program

Chulalongkorn University

2012

โครงการลำดับที่.....

วันที่.....

บทคัดย่อปริญญานิพนธ์

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) : การพัฒนาแผ่นแปะผิวหนังที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสำหรับบรรเทาอาการฟกช้ำ

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) : Development of thermally modified topical patch for contusive relief

หัวหน้าโครงการ : นางสาวปวีณา ตั้งเลิศวิชชา 5136606933

ผู้ร่วมโครงการ : นางสาวกมลพร คงนิลมณี 5136503933

: นายน้ำเต้ สีหมากสุก 5136591033

อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ภญ. ดร.นฤพร สุตัณฑวิบูลย์

ภาควิชา : วิทยาการเภสัชกรรมและเภสัชอุตสาหกรรม

การประคบร้อนและประคบเย็น เป็นวิธีการบรรเทาอาการฟกช้ำวิธีหนึ่งที่ถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่นิยม แต่การประคบรูปแบบเดิมมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ได้แก่ ไม่สะดวก มีความยุ่งยากในการเตรียมอุปกรณ์และไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนหรือเย็นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นแปะผิวหนังที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสำหรับบรรเทาอาการฟกช้ำ โดยใช้กลไกของการเกิดปฏิกิริยาคายและดูดความร้อน เพื่อให้เกิดการปลดปล่อยอุณหภูมิร้อนและเย็นตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมี 2 ชุด คือ ชุดแผ่นแปะประคบร้อนและชุดแผ่นแปะประคบเย็น แต่ละชุดประกอบด้วยส่วนที่หนึ่ง คือ แผ่นแปะผิวหนังที่มีลักษณะเป็นไฮโดรเจล ซึ่งมีพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละติน และส่วนที่สองเป็นซองบรรจุเกลือในรูปผงแห้งสำหรับประกอบเข้ากับส่วนที่หนึ่งเมื่อจะใช้งาน โดยชุดแผ่นแปะประคบร้อนจะใช้เกลือแคลเซียมคลอไรด์และชุดแผ่นแปะประคบเย็นจะใช้เกลือแอมโมเนียมไนเตรต

สำหรับการพัฒนาตำรับแผ่นแปะผิวหนัง ได้ทำการคัดเลือกชนิดของพอลิเมอร์ที่จะก่อไฮโดรเจลที่เหมาะสม ศึกษาผลของสัดส่วนและปริมาณของพอลิเมอร์ที่เลือกใช้ และผลของปริมาณเกลือที่เหมาะสมต่อปริมาณไฮโดรเจล ทำการประเมินลักษณะทางกายภาพ ปริมาณน้ำในสูตรตำรับไฮโดรเจล และศึกษาถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นแปะไฮโดรเจลเมื่อเกิดปฏิกิริยาคายหรือดูดความร้อนกับเกลือที่เลือกใช้ ผลการทดลองพบว่า สูตรแผ่นแปะไฮโดรเจลส่วนที่หนึ่งที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี มีปริมาณน้ำเหมาะสมและสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ตามต้องการ ประกอบด้วย ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 6.67% เจละติน 3.33% กลีเซอริน 2% เมทธิลพาราเบน 0.1% โพรพิลพาราเบน 0.02% โดยน้ำหนัก และน้ำเป็นส่วนที่เหลือ ปริมาณเกลือที่เหมาะสม คือ 8 กรัมต่อแผ่น โดยแผ่นแปะประคบร้อนสามารถให้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (33 องศาเซลเซียส) ได้นานกว่า 20 นาทีและให้อุณหภูมิสูงสุด 41.03 ± 0.05 องศาเซลเซียส และแผ่นแปะประคบเย็นสามารถให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้นานกว่า 10 นาทีและให้อุณหภูมิต่ำสุด 25.37 ± 0.05 องศาเซลเซียส และผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจทั้งในเรื่องระดับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ แต่ทั้งนี้ควรมีการศึกษาในเรื่องความคงสภาพของผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม และควรมีการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ให้มีความน่าใช้มากยิ่งขึ้นในอนาคต

ฝ่ายวิชาการ คณะเภสัชศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

คำนำ

โครงการปริญญานิพนธ์เรื่องการพัฒนาแผ่นแปะผิวหนังที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสำหรับบรรเทาอาการฟกช้ำนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสูตรตำรับแผ่นแปะที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ เพื่อให้สะดวกในการใช้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการประคบร้อน-เย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสูตรตำรับแผ่นแปะที่ได้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ใช้ในการประคบร้อนและประคบเย็น ปริญญานิพนธ์นี้ได้จัดทำขึ้นโดยเนื้อหารายงานจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนกระบวนการวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งแต่ละขั้นตอนที่ได้ทำการทดลองนั้นได้อธิบายไว้ในเนื้อหาของแต่ละบท ซึ่งประกอบด้วย ส่วนของบทนำ ปริทัศน์วรรณกรรม วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย และสรุปผลการวิจัย

ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและหากมีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ทางคณะผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาปริญญานิพนธ์นี้ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ เภสัชกรหญิง ดร.นฤพร สุตัณฑวิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของโครงการนี้ ตลอดจนให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงการนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาการเภสัชกรรมและเภสัชอุตสาหกรรมทุกท่านที่กรุณาให้ความสะดวกในการทำโครงการนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปริญญานิพนธ์	**ง**
คำนำ	**จ**
กิตติกรรมประกาศ	**ฉ**
สารบัญ	**ช**
สารบัญตาราง	**ฌ**
สารบัญภาพ	**ฎ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม	**3**
2.1 อาการฟกช้ำ	3
2.2 การบรรเทาอาการฟกช้ำ	3
2.3 ปฏิกิริยาคายความร้อนและดูดความร้อน	3
2.4 แคลเซียมคลอไรด์ ไดไฮเดรต (Calcium Chloride dihydrate)	4
2.5 แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Sulphate)	5
2.6 แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)	6
2.7 แอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium nitrate)	7
2.8 ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส (Hydroxyethylcellulose : HEC)	8
2.9 เจละติน (Gelatin)	11
2.10 คาร์โบเมอร์ 940 (Carbomer 940)	12
2.11 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol : PVA)	14
2.12 ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl cellulose : HPC)	16
2.13 โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 (Polyvinylpyrrolidone K-30 : PVP K30)	18
2.14 แซนแทน กัม (Xanthan gum)	19
2.15 แนวทางในการตั้งสูตรตำรับแผ่นไฮโดรเจล	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	**29**
3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	30
บทที่ 4 ผลการวิจัย	**39**
4.1 ผลการศึกษาก่อนการตั้งสูตรตำรับต้นแบบ	39
4.2 ลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับที่ทำการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้าด้วยกัน	40
4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นแปะไฮโดรเจลในขั้นตอนการทดลองที่ 5	42
4.4 ผลการศึกษาการปรับเปลี่ยนชนิดของเกลือที่มีคุณสมบัติการดูดความร้อน (การทดลองขั้นที่ 6)	47
4.5 ผลการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละติน	49
4.6 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเกลือที่สามารถเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนและดูดความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (การทดลองขั้นที่ 8.1)	58
4.7 ผลการศึกษาผลของปริมาณเกลือที่มีคุณสมบัติในการคายความร้อน และดูดความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยนำมาทดสอบกับแผ่นแปะไฮโดรเจล (การทดลองขั้นที่ 8.2)	61
4.8 ผลการประเมินความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น	67
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง	**75**
5.1 อภิปรายผลการศึกษาหาพอลิเมอร์ที่สามารถเตรียมเป็นแผ่นแปะไฮโดรเจล	75
5.2 อภิปรายผลการศึกษาหาเกลือที่ใช้ในการดูดความร้อนของแผ่นประคบเย็น	75
5.3 อภิปรายผลการตั้งสูตรตำรับ	76
5.4. อภิปรายผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนปริมาณเกลือต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	78
5.5. อภิปรายผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนปริมาณเจลในแต่ละแผ่นต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	79
5.6. อภิปรายผลการประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น	79
สรุปผลการทดลอง	80
เอกสารอ้างอิง	**82**
ภาคผนวก	**84**
ภาคผนวก ก.	85
ภาคผนวก ข.	95
ภาคผนวก ค.	87

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนืดของสารละลายไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสชนิด cellosize ที่ความเข้มข้นต่างๆ 10

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนืดของสารละลายไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสชนิด Nitrosol 250 ที่ความเข้มข้นต่างๆ 10

ตารางที่ 3 แสดงความเข้มข้นในการใช้ประโยชน์ของคาร์โบเมอร์ 14

ตารางที่ 4 แสดงการใช้ประโยชน์ของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ 15

ตารางที่ 5 แสดงความเข้ากันได้ของไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสกับเกลืออินออร์แกนิก 17

ตารางที่ 6 แสดงการใช้ประโยชน์ของโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน 19

ตารางที่ 7 แสดงโพลิเมอร์จากธรรมชาติและโพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ 21

ตารางที่ 8 แสดงหลักการแบ่งประเภทของไฮโดรเจลในแบบต่างๆ 22

ตารางที่ 9 แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจล 23

ตารางที่ 10 แสดงชนิดและร้อยละปริมาณของส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะสูตร A1-A6 31

ตารางที่ 11 แสดงชนิดและปริมาณของสารที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะสูตร A1-A6 จำนวน 50 กรัม 31

ตารางที่ 12 แสดงชนิดและร้อยละของส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะของสูตร C1-C6 32

ตารางที่ 13 แสดงชนิดและปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะสูตร C1-C6 จำนวน 50 กรัม 32

ตารางที่ 14 แสดงชนิดและร้อยละของส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในสูตร P1-P4 33

ตารางที่ 15 แสดงชนิดและปริมาณของส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในสูตร P1-P4 จำนวน 50 กรัม 34

ตารางที่ 16 แสดงอัตราส่วนของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสต่อเจลาติน และปริมาณน้ำหนักเจลรวมที่ใช้ในสูตรตำรับ 35

ตารางที่ 17 แสดงชนิดและร้อยละของส่วนประกอบที่ใช้ในสูตรตำรับ T1-T9 35

ตารางที่ 18 แสดงชนิดและปริมาณสารที่ใช้ในสูตรตำรับ T1-T9 จำนวน 10 กรัม 36

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณสารที่ใช้ในการทดสอบการละลายในน้ำ เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 37

ตารางที่ 20 แสดงปริมาณเกลือที่บรรจุลงในถุงเกลือ เพื่อศึกษาผลของปริมาณเกลือต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 37

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 21 แสดงส่วนประกอบและน้ำหนักของไฮโดรเจล เพื่อศึกษาผลของปริมาณไฮโดรเจลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 38
ตารางที่ 22 แสดงลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับ A1-A8 39
ตารางที่ 23 แสดงลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับ C1-C8 40
ตารางที่ 24 แสดงลักษณะทางกายภาพและปริมาณน้ำในสูตรตำรับของสูตรตำรับ P1-P4 42
ตารางที่ 25 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจล และผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ P1-P4 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือที่บรรจุแคลเซียมคลอไรด์ 43
ตารางที่ 26 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจล และผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ P1-P4 เมื่อทดสอบกับถุงที่บรรจุเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ 45
ตารางที่ 27 แสดงอุณหภูมิของแอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต ปริมาณ 4 กรัม เมื่อใส่ลงในน้ำปริมาณ 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที 47
ตารางที่ 28 แสดงปริมาณน้ำของไฮโดรเจลในสูตรตำรับ T1-T9 49
ตารางที่ 29 แสดงลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับ T1-T9 50
ตารางที่ 30 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม 52
ตารางที่ 31 แสดงผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม 53
ตารางที่ 32 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต 3 กรัม 55
ตารางที่ 33 แสดงผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม 56
ตารางที่ 34 แสดงอุณหภูมิของแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณต่างๆ เมื่อละลายในน้ำปริมาณ 10 มิลลิลิตร 58
ตารางที่ 35 แสดงอุณหภูมิของแอมโมเนียมไนเตรต ปริมาณต่างๆ เมื่อใส่ลงในน้ำปริมาณ 10 มิลลิลิตร 59

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 36 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T6 ขนาด 5.5 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 61
ตารางที่ 37 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T6 ขนาด 8 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 62
ตารางที่ 38 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะสูตรตำรับ T6 ขนาด 20 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต 64
ตารางที่ 39 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะสูตรตำรับ T6 ขนาด 30 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต 65
ตารางที่ 40 แสดงผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น 73

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างของ แคลเซียมคลอไรด์ ไดไฮเดรต 4

รูปที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมซัลเฟต 5

รูปที่ 3 แสดงสูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมคลอไรด์ 6

รูปที่ 4 แสดงสูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมไนเตรต 7

รูปที่ 5 แสดงสูตรโครงสร้างของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 8

รูปที่ 6 แสดงสูตรโครงสร้างของเจละติน 11

รูปที่ 7 แสดงสูตรโครงสร้างของคาร์โบเมอร์ 12

รูปที่ 8 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 14

รูปที่ 9 แสดงสูตรโครงสร้างของไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส 16

รูปที่ 10 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 18

รูปที่ 11 แสดงสูตรโครงสร้างของแซนแทน กัม 19

รูปที่ 12 แสดงสมการของ Swelling ratio และ ปริมาณน้ำของไฮโดรเจล 27

รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อนสูตร P1-P4 44

รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น สูตร P1-P4 46

รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของการละลาย $(NH_4)_2SO_4$, NH_4Cl และ NH_4NO_3 ในน้ำ 48

รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน สูตรT1-T9 54

รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น สูตร T1-T9 57

รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของการละลาย $CaCl_2$ ปริมาณต่างๆ ในน้ำ 59

รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของการละลาย NH4NO3 ปริมาณต่างๆ ในน้ำ 60

รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแผ่นแปะไฮโดรเจลและปริมาณเกลือ $CaCl_2$ 63

รูปที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ของแผ่นแปะไฮโดรเจลและปริมาณเกลือ NH_4NO_3 66

รูปที่ 22 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน 67

รูปที่ 23 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบร้อนเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิสูงขึ้น 68

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 24 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน 68

รูปที่ 25 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น 69

รูปที่ 26 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบเย็นเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิต่ำลง 70

รูปที่ 27 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น 70

รูปที่ 28 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของขนาดแผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น 71

รูปที่ 29 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความสะดวกรวดเร็วและความสวยงามน่าใช้ของผลิตภัณฑ์ 71

รูปที่ 30 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับการซื้อแผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็นมาใช้ 72

รูปที่ 31 แสดงผลิตภัณฑ์ชุดแผ่นแปะประคบร้อน 80

รูปที่ 32 แสดงผลิตภัณฑ์ชุดแผ่นแปะประคบเย็น 81

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

แผลฟกช้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงสีของผิวหนัง ซึ่งบ่งบอกถึงการมีเลือดออกจากการที่เส้นเลือดใต้ผิวหนังได้รับบาดเจ็บ ทำให้เป็นรอยคล้ำสีดำและม่วง ซึ่งมักจะเป็นอยู่ประมาณ 2 สัปดาห์ สาเหตุที่ทำให้เกิดการฟกช้ำสามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การกระแทก โดยเฉพาะเด็กที่ซุกซน หรือผู้ที่ออกกำลังกายอย่างหนัก ซึ่งมักจะมีการกระทบกระแทกโดยของแข็ง หรือหกล้มจนเกิดอาการบาดเจ็บหรือฟกช้ำ โดยในช่วงแรกของการฟกช้ำนั้นจะเกิดเป็นรอยช้ำที่มีสีออกแดงและจะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือคล้ำเมื่อผ่านไปเพียงไม่กี่ชั่วโมง จากนั้นอีกหลายวันถัดมา รอยช้ำจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเขียว นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความปวดในช่วง 2-3 วันแรก และความปวดจะค่อยๆลดลงพร้อมกับสีของรอยช้ำ ซึ่งระยะเวลาตั้งแต่เกิดการฟกช้ำจนรอยฟกช้ำหายไปจะใช้เวลาค่อนข้างนาน[1]

สำหรับวิธีการรักษาแผลฟกช้ำที่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การประคบเย็นที่รอยฟกช้ำทันทีในขณะที่รอยฟกช้ำยังมีสีแดงอยู่ โดยใช้ผ้าจุ่มน้ำเย็นวางบนแผลที่ฟกช้ำ ซึ่งจะช่วยลดความเจ็บปวดและลดอาการบวมจากการกระแทกได้ หลังจากนั้นจึงทำการประคบร้อน โดยการใช้ผ้าจุ่มน้ำอุ่นประคบลงบริเวณที่ฟกช้ำ เพื่อช่วยให้มีการไหลเวียนของเลือดเพิ่มขึ้นในบริเวณที่ฟกช้ำ ทำให้รอยฟกช้ำค่อยๆจางลง[1]

เนื่องจากในปัจจุบันพบว่า การบรรเทาอาการฟกช้ำด้วยวิธีการประคบเย็นและประคบร้อนโดยการใช้ผ้าจุ่มน้ำเย็นและน้ำร้อนมาประคบที่บริเวณที่ฟกช้ำนั้นเป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยากและไม่สะดวกต่อผู้ใช้ อีกทั้งความร้อนและความเย็นที่ปล่อยออกมานั้นยังไม่สามารถควบคุมให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมและให้ความร้อนหรือเย็นได้ในเวลาที่ต้องการ ผู้จัดทำจึงเกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับบรรเทาอาการปวดและฟกช้ำ โดยมีการใช้กลไกของปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดอุณหภูมิร้อนและเย็นแก่แผ่นแปะ และมีความคาดหวังว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นแปะนี้จะสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิเข้าสู่ผิวหนังเพื่อบรรเทาอาการฟกช้ำได้ดีกว่าวิธีการเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาสูตรตำรับแผ่นแปะผิวหนังให้สามารถควบคุมอุณหภูมิร้อนและเย็นได้ เพิ่มความสะดวกในการใช้บรรเทาอาการฟกช้ำ

2) เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมแผ่นแปะผิวหนังที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสม

3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพของแผ่นแปะผิวหนังในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ผลิตภัณฑ์แผ่นแปะที่สามารถปลดปล่อยอุณหภูมิร้อน-เย็นได้ในช่วงที่มีผลบรรเทาอาการฟกช้ำและมีความคงตัวทางเคมีกายภาพ

- เป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความสะดวกในการบรรเทาอาการฟกช้ำ
- นำแผ่นแปะไปประยุกต์ใช้กับอาการปวดแบบอื่นๆ นอกเหนือจากอาการฟกช้ำ เช่น ปวดกล้ามเนื้อ ปวดข้อ

บทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรม

2.1 อาการฟกช้ำ[2]

อาการฟกช้ำ ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทบกระแทกหรือถูกชนถูกต่อย และมีการฉีกขาดของกล้ามเนื้อใต้ผิวหนังและหลอดเลือดฝอยใต้ผิวหนัง ทำให้มีเลือดออกและคั่งอยู่ใต้ผิวหนัง มักพบรอยช้ำบวมและสีผิวเปลี่ยนในบริเวณอวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บ โดยไม่มีบาดแผลฉีกขาดหรือเลือดออกให้เห็นจากภายนอก

2.2 การบรรเทาอาการฟกช้ำ[2]

ปกติภาวะฟกช้ำจะค่อยๆ ดีขึ้นและหายได้ ภายใน 10 - 14 วัน ในกรณีที่ยังไม่หายและมีอาการหลงเหลืออยู่ หรือบางครั้งฟกช้ำมากๆ จำเป็นต้องไปพบแพทย์เพื่อการตรวจรักษาและเอาเลือดที่คั่งค้างอยู่ออก สำหรับการบรรเทาอาการเบื้องต้นมีวิธีการ ดังนี้

- ระยะ 48 ชั่วโมงแรก ให้ใช้น้ำเย็นหรือน้ำแข็งประคบ วันละ 2 – 3 ครั้ง ครั้งละ 15 – 30 นาที โดยเฉพาะการฟกช้ำบริเวณศีรษะและใบหน้า ให้ประคบด้วยน้ำแข็ง หรืออาจใช้ผ้าม้วนให้หนาพอประมาณมากดตรงบริเวณที่ฟกช้ำ เพื่อลดอาการบวมจากเลือดออกใต้ผิวหนังมีน้อยที่สุดและสามารถหายได้ในระยะเวลาอันสั้น

-ระยะหลัง 48 ชั่วโมง เมื่อข้อเกิดการบวมเต็มที่แล้ว ให้ประคบด้วยผ้าชุบน้ำร้อน วันละ 2 - 3 ครั้ง ครั้งละ 15 นาที อาการบวมจะค่อยๆ ลดลง โดยห้าม คลึง ขยี้ หรือนวดด้วยความร้อน เช่น ยาหม่อง ยาแก้เคล็ดขัดยอก ข้าวสุกร้อน ไข่ต้ม เป็นต้น เพราะจะทำให้เลือดออกมากขึ้น

2.3 ปฏิกิริยาคายความร้อนและดูดความร้อน[3]

ปฏิกิริยาคายความร้อน คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ตัวอย่างของปฏิกิริยาคายความร้อน เช่น

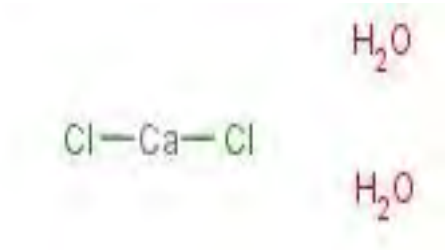
- ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิง
- ปฏิกิริยาในการทำให้เป็นกลางของกรดหรือเบส
- การละลายแอนไฮดรัส คอปเปอร์ II ซัลเฟต (anhydrous copper(II) sulfate)
- การเติมกรดหรือเบสเข้มข้นลงในน้ำ
- ปฏิกิริยาของกรดน้ำส้มกับเหล็กฝอย
- การละลายเกลือแคลเซียมคลอไรด์ในน้ำ
- ปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตกับกรดแอซิติกซึ่งทำให้เกิดเกลือโซเดียมแอซิเตท[4]

ปฏิกิริยาดูดความร้อน คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการดูดพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบจนมีผลทำให้สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำลง

ตัวอย่างของปฏิกิริยาดูดความร้อน เช่น

- ปฏิกิริยาระหว่างผลึกแบเรียมไฮดรอกไซด์ ออกตะไฮเดรต (barium hydroxide octahydrate crystals) กับ เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์
- การละลายเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ในน้ำ
- การละลายเกลือแอมโมเนียมไนเตรตในน้ำ
- การละลายเกลือโพแทสเซียมคลอไรด์ในน้ำ
- ปฏิกิริยาระหว่างไทโอนิลคลอไรด์ (thionyl chloride : $SOCl_2$) กับ โคบอลต์ II ซัลเฟต เฮปตะไฮเดรต (cobalt(II) sulfate heptahydrate)
- ปฏิกิริยาระหว่างกรดเอทาโนอิก (ethanoic acid) กับโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate)
- ปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงของพืช

2.4 แคลเซียมคลอไรด์ ไดไฮเดรต (Calcium Chloride dihydrate)[5]



รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างของ แคลเซียมคลอไรด์ ไดไฮเดรต

IUPAC name: Calcium chloride dihydrate

CAS register number: 10035-04-8

ชื่ออื่นๆ (additional names): Calcii chloridum dihydricum; calcii chloridum hexahydricum

สูตรโมเลกุล (molecular formula) : $CaCl_2\,2H_2O$

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 147.0

ลักษณะ (description)[5,6] : ผลึกรูปคิวบิก หรือ แกรนูล ดูดความชื้นมาก ขนาดอนุภาคไม่เกิน 7.0 mm ไม่มีกลิ่นและ hygroscopic

ค่าการละลาย (solubility) : ละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์

ความเป็นกรดเบส : pH= 4.5–9.2 สำหรับสารละลายความเข้มข้น 5% w/v

จุดหลอมเหลว (melting point)[7] :176 องศาเซลเซียส

จุดเดือด (Boiling point)[7] : 174 องศาเซลเซียส

Heat of Solution ในน้ำ : –72.8 cal/g

ความหนาแน่น : 0.835 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

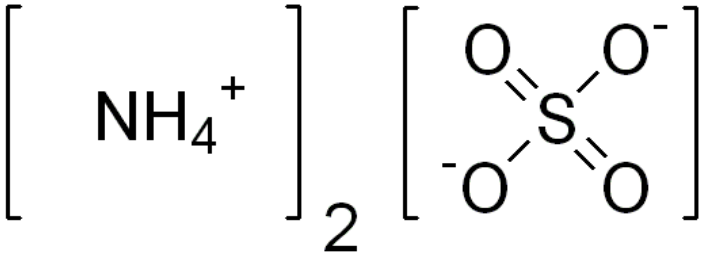
การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม[5,6] :

- เป็นสารช่วยลดความแข็งของวัสดุที่ผ่านการแช่แข็ง (Anti-freeze)
- สารละลายเข้มข้น 10% เป็นยาฉีดสำหรับรักษาภาวะแคลเซียมต่ำ

ความคงตัวและการเก็บรักษา : มีความคงตัวทางเคมี แต่ควรป้องกันความชื้น เก็บในที่มิดชิด แห้งและเย็น

ความเข้ากันได้ (Compatability): ไม่เข้ากันกับเกลือคาร์บอเนต ฟอสเฟต ซัลเฟตและทาร์เทรต ทำปฏิกิริยารุนแรงกับโบรมีนและไตรฟลูออไรด์ สามารถเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนในน้ำและเมื่อให้ความร้อนจะสลายตัวให้แก๊สคลอรีนที่เป็นพิษ

2.5 แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Sulphate) [6,8]



รูปที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมซัลเฟต

IUPAC name[6] : Ammonium Sulfate

CAS register number[6] : 7783-20-2

ชื่ออื่นๆ (additional names) [6]: mascagnite

สูตรโมเลกุล (molecular formula) [6] : $H_8N_2O_4S$

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) [6] : 132.14

ร้อยละของส่วนประกอบ (percent composition) [6] : ไฮโดรเจน 6.10%, ไนโตรเจน 21.20%, ออกซิเจน 48.43%, ซัลเฟอร์ 24.27%

ลักษณะ (description) [6] : ผลึกรูปออโธรอมบิก หรือ แกรนูลสีขาว

ค่าการละลาย (solubility) [6] : ละลายในน้ำ (กรัม/น้ำ 100 กรัม) : 70.6 (0 °c);
76.7 (25°c); 103.8 (100°c) ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และอะซิโตน

พีเอชของสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสซึ่งเตรียมใหม่[6] : 5.5

จุดหลอมเหลว (melting point) [6] **:** 235-280 °C

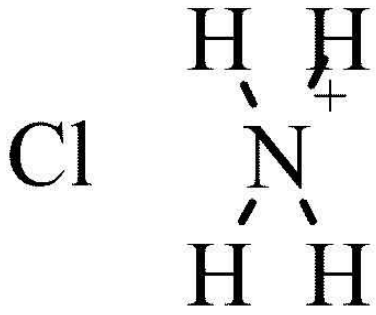
Heat of Solution ในน้ำ [6] **:** -1.2 kcal/mol

ความหนาแน่น [6] **:** 1.769 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่ 20 องศาเซลเซียส

การใช้ประโยชน์ [6,8] **:** ผลิตแอมโนเนียอลัม อุตสาหกรรมเส้นใยทนไฟและกระดาษ ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี การแยกโปรตีนให้บริสุทธิ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิตวัคซีนป้องกันโรคคอตีบ บาดทะยักและไอกรน

ความคงตัวและการเก็บรักษา [6,8] **:** เก็บในภาชนะปิดสนิท ในที่แห้งและป้องกันความชื้น

2.6 แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)[5]



รูปที่ 3 แสดงสูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมคลอไรด์

IUPAC name : Ammonium Chloride

CAS register number : 12125-02-9

ชื่ออื่นๆ (additional names): Ammonium muriate; sal ammoniac; salmiac

สูตรโมเลกุล (molecular formula) [6] **:** ClH_4N

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 53.49

ร้อยละของส่วนประกอบ (percent composition) [6] **:** คลอรีน 66.28%, ไฮโดรเจน 7.54%, ไนโตรเจน 26.19%

ลักษณะ (description) : ผลึกไม่มีกลิ่น ไม่มีสีหรือสีขาว หรือผงสีขาว, ให้ความรู้สึกเย็น, มีรสเค็มของเกลือ, ค่อนข้างดูดความชื้น มีแนวโน้มจะจับตัวกันเป็นก้อน เป็นสารที่ดูดความร้อนได้มาก

ความเป็นกรด/เบส : pH 5.5 สารละลายเข้มข้น 1% pH 5.1สารละลายเข้มข้น 3% pH 5.0 สารละลายเข้มข้น 10% ที่อุณหภูมิ

ความหนาแน่น : 0.6–0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ค่าการละลาย (solubility) : ละลายน้ำ (W/W): 22.9% (0 ºc); 26.0% (15 ºc); 28.3% (25 ºc); 39.6% (80 ºc) โดยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมคลอไรด์ จะลดการละลายในน้ำ ละลายในเมทานอลและเอทานอล ไม่ละลายในแอซิโตนอีเทอร์และเอทิลอะซิเตท

Heat of Solution ในน้ำ : -3.82 kcal/mol

ค่าความถ่วงจาเพาะ (specific gravity) : 1.527 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

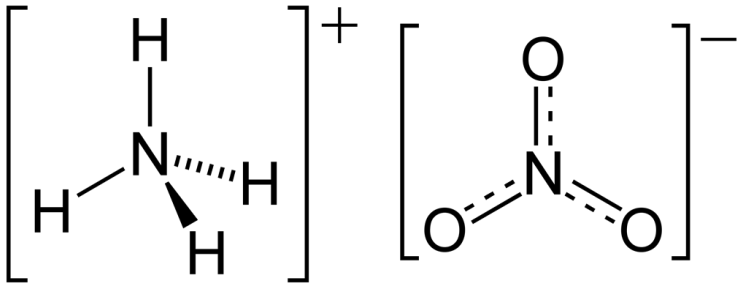
การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- ยาขับเสมหะ สารขับเหงื่อ
- ใช้รักษาโรคในทางเดินปัสสาวะโดยทำให้ปัสสาวะเป็นกรด
- ใช้รักษาภาวะเลือดเป็นด่างอย่างรุนแรง
- ใช้เป็นสารทำให้เป็นกรดในยารับประทาน
- เป็นสารเติมแต่งในอาหารและน้ำยาฆ่าเชื้อ acidifying agent in oral

ความคงตัวและการเก็บรักษา : มีความคงตัวทางเคมี สลายตัวให้แอมโมเนียและกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 388 องศาเซลเซียส เก็บในภาชนะปิดสนิท ในที่แห้งและเย็น

ความเข้ากันได้ (Compatability) : ไม่เข้ากันกับกรดและด่างแก่ ทำปฏิกิริยารุนแรงกับ แอมโมเนียมไนเตรตและโพแทสเซียมคลอเรท เกิดไฟและระเบิดได้

2.7 แอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium nitrate) [6]



รูปที่ 4 แสดงสูตรโครงสร้างของแอมโมเนียมไนเตรต

IUPAC name : Ammonium Nitrate

CAS register number : 6484-52-2

สูตรโมเลกุล (molecular formula) : $H_4N_2O_3$

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 80.04

ร้อยละของส่วนประกอบ (percent composition) : ไฮโดรเจน 5.04%, ไนโตรเจน 35.00%, ออกซิเจน 59.97%

ลักษณะ (description) : ผลึก หรือแกรนูลสีขาว ไม่มีกลิ่น โปร่งใส ดูดความชื้นง่าย ที่ความดันปกติเป็นของแข็งได้ 5 รูปแบบ ที่อุณหภูมิห้องเป็นผลึกรูปออร์โธรอมบิก (Orthorhombic) ดูดความชื้นได้มาก

ค่าการละลาย (solubility) : 1 กรัมละลายในน้ำ 0.5 มิลลิลิตร, น้ำเดือด 0.1 มิลลิลิตร, แอลกอฮอล์ 20 มิลลิลิตร, เมทานอล 8 มิลลิลิตร

พีเอชของสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสซึ่งเตรียมใหม่ : 5.43

จุดหลอมเหลว (melting point) : 169 องศาเซลเซียส

จุดเดือด (Boiling point) : สลายที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส

Heat of Solution ในน้ำ : -6.47 kcal/mol

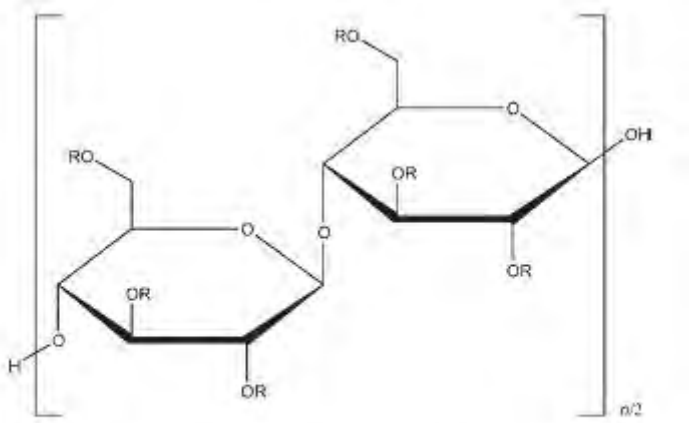
ความหนาแน่น : 1.725 g/cm3 (20 °C)

การใช้ประโยชน์: ทำไนตรัสออกไซด์ (แก๊สหัวเราะ) ส่วนผสมในไม้ขีดไฟ ปุ๋ย ถุงเย็นและเป็นส่วนประกอบของระเบิด

ความคงตัวและการเก็บรักษา : เก็บแยกจากสารเคมีอื่นๆ และห่างจากวัสดุที่ติดไฟได้ เช่น น้ำมันเก็บในภาชนะปิดสนิท ในที่แห้ง ป้องกันความชื้น

ความเข้ากันได้ (Compatability) : ห้ามสัมผัสกับของเหลวที่ไวไฟ ผงโลหะ กรด คลอเรท ไนเตรท สังกะสีและเกลือของมัน น้ำมัน

2.8 ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส (Hydroxyethylcellulose : HEC)[5]



R is H or $[—CH_2CH_2O—]_mH$ where m is a common integral number of cellulose derivatives.

รูปที่ 5 แสดงสูตรโครงสร้างของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส

ชื่อทางเคมี : Cellulose, 2-hydroxyethyl ether

CAS register number : [9004-62-0]

ชื่ออื่นๆ (additional names): Cellosize HEC; cellulose hydroxyethyl ether; cellulose 2-hydr-

oxyethyl ether; cellulose hydroxyethylate; ethylhydroxy cellulose; ethylose; HEC; HE cellulose; hetastarch; 2-hydroxyethyl cellulose ether; hydroxyethylcellulosum; hydroxyethyl ether cellulose; hydroxyethyl starch; hyetellose; Natrosol; oxycellulose; Tylose H; Tylose PHA.

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 4,000

ลักษณะภายนอก (description) : ผงสีขาวหรือเหลืองหรือขาวเทา ไม่มีกลิ่นและรส ดูดความชื้นได้สูง

ค่าการละลาย (solubility) : ละลายในน้ำร้อนและน้ำเย็น ไม่ค่อยละลายในอะซีโตน เอทานอล 95% อีเทอร์ โทลูอีน และตัวทำละลายออร์แกนิกอื่นๆ ละลายได้บางส่วนและพองตัวได้ในตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น สารกลุ่มไกลคอล

ความเป็นกรด/เบส : pH = 5.5–8.5 ในสารละลายเข้มข้น 1% w/v

ความหนาแน่น : 0.35–0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับ Cellosize และ 0.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับ Natrosol

จุดหลอมเหลว : 135–140 องศาเซลเซียส สลายตัวที่ 280 องศาเซลเซียส

ปริมาณน้ำ : น้อยกว่า 5% w/w ของน้ำ

ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.38–1.40 สำหรับ Cellosize และ 1.0033 สำหรับสารละลายในน้ำเข้มข้น 2% w/v

การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- สารเพิ่มความแข็ง โดยเฉพาะยาตา
- สารยึดเกาะในตำรับยาเม็ด
- สารเพิ่มความหนืดในยาใช้ภายนอก
- สารเคลือบฟิลม์ในยาเม็ด
- เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ที่ใช้หล่อลื่นสำหรับอาการตาแห้ง ปากแห้ง และผู้ที่ใส่คอนแทคเลนส์
- ความเข้มข้นที่ใช้ในสูตรตำรับขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายและน้ำหนักโมเลกุลของแต่ละเกรด

ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนืดของสารละลายไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสชนิด cellosize ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Table III: Approximate viscosities of various grades of aqueous *Cellosize* (Amerchol Corp.) solutions at 25 °C.

Type	Grade	Concentration (% w/v)	Viscosity (mPa s)[a]	
			Low	High
WP	02	5	7–14	14–20
WP and QP	09	5	60–100	100–140
	3	5	220–285	285–350
	40	2	70–110	110–150
	300	2	250–325	325–400
	4400	2	4 200–4700	700–5 200
QP	10000	2	5700	6500
	15000	2	15000–18000	18 000–21 000
	30000	1	950–1 230	1 230–1 500
	52000	1	1 500–1 800	1 800–2 100
	100M	1	2 500	3000

(a) *Cellosize* viscosity grades are available in narrower ranges, as noted by the Low and High designation.

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนืดของสารละลายไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสชนิด Nitrosol 250 ที่ความเข้มข้นต่างๆ

Table IV: Approximate viscosities of various grades of aqueous *Natrosol 250* (Ashland Aqualon Functional Ingredients) solutions at 25 °C.

Type	Viscosity (mPa s) for varying concentrations (% w/v)		
1%	2%	5%	
HHR	3 400–5 000	—	—
H4R	2 600–3 300	—	—
HR	1 500–2 500	—	—
MHR	800–1 500	—	—
MR	—	4 500–6 500	—
KR	—	1 500–2 500	—
GR	—	150–400	—
ER	—	25–105	—
JR	—	—	150–400
LR	—	—	75–150

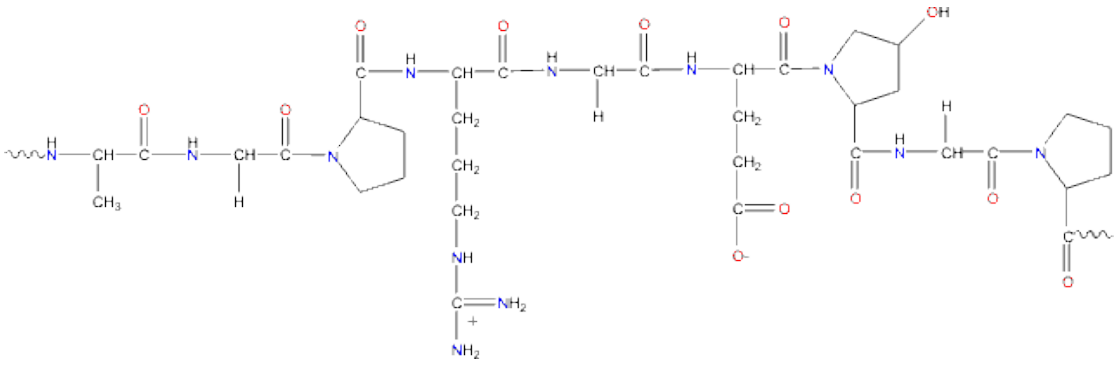
ความเข้ากันได้ (Compatability) : ไม่ละลายในตัวทำละลายออร์แกนิก ไม่เข้ากันกับ สีเรืองแสง สารฆ่าเชื้อโรคกลุ่ม quaternary disinfectants ซึ่งสามารถทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น และและเข้ากันได้บางส่วนกับสารประกอบที่ละลายน้ำ เช่น เจละติน เมทธิลเซลลูโลส โพลีไวนิลแอลกอฮอล์สตาร์ช และสามารถใช้ร่วมกับสารกันเสียที่ละลายน้ำได้

ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส สามารถทนต่ออิเล็กโตรไลต์ได้ดี เช่น เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต อะลูมิเนียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต เป็นต้น

ความคงตัวและการเก็บรักษา : มีความคงตัวแม้จะดูดความชื้น คงตัวในสารละลาย pH 2–12 แต่ที่ pH ต่ำกว่า 5 จะเกิดไฮโดรไลซิส และที่ pH สูง อาจเกิดออกซิเดชัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้ความหนืดลดลง

มีความไวต่อเชื้อราและแบคทีเรีย เมื่อเก็บไว้นาน จึงควรใช้สารกันเสีย สำหรับในรูปแบบผง ควรเก็บในที่ปิดสนิท แห้งและเย็น

2.9 เจละติน (Gelatin)[5]



รูปที่ 6 แสดงสูตรโครงสร้างของเจละติน

ชื่อทางเคมี : Gelatin

CAS register number : [9000-70-8]

ชื่ออื่นๆ (additional names): Byco; Cryogel; E441; gelatina; gelatine; Instagel; Kolatin; Solugel; Vitagel

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 20,000–200,000 g/mol

ลักษณะภายนอก (description) : สีเหลืองอ่อน ใส เปราะ มีกลิ่นและรสเล็กน้อย มีแบบเป็นแผ่นใส แบบเกล็ด และแบบผงหยาบ

ค่าการละลาย (solubility) : ละลายในกรีเซอริน กรด และเบส สามารถพองตัวในน้ำได้ 5-10 เท่า ของน้ำที่ดูดซึมและละลายในน้ำร้อนสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เป็นสารละลายคอลลอยด์และกลายเป็นเจลเมื่อเย็นลงประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส เจลมีลักษณะเป็น thixotropic และสามารถละลายย้อนกลับเมื่ออุณหหภูมิสูงกว่า setting point

ความเป็นกรด/เบส : สำหรับสารละลาย 1% w/v ที่ 25 องศาเซลเซียส

pH = 3.8–5.5 (type A)

pH = 5.0–7.5 (type B)

ความหนาแน่น : 1.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับ type A และ 1.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับ type B

Isoelectric point : 7.0–9.0 สำหรับ type A และ 4.7–5.4 สำหรับ type B

ปริมาณน้ำ : 9-10 % w/w

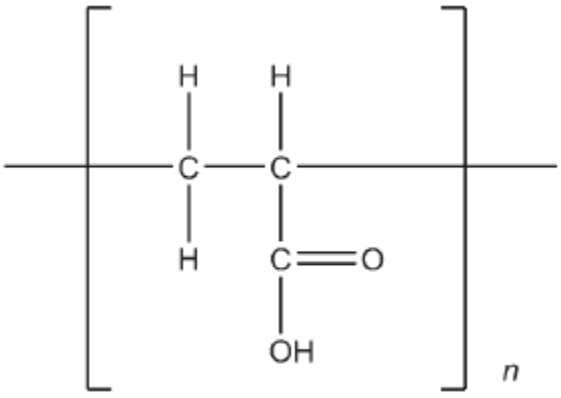
การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- biodegradable matrix ในระบบการนำส่งยาแบบยาฝัง
- เปลือกแคปซูลชนิดแข็งและอ่อนซึ่งจำเป็นต้องใช้สารกันเสีย สารลดแรงตึงผิวปริมาณเล็กน้อย สารเพิ่มความยืดหยุ่น (plasticiser) เช่น โพลีแอลกอฮอล์หรือน้ำ สารให้ความชุ่มชื้น เช่น ซอร์บิทอล สีและสารทึบแสง
- สารเพิ่มความหนืดในน้ำยาเคลือบยาเม็ด
- ใช้ในการผลิตยารูปแบบไมโครเอนแคปซูลเลชัน
- เจละตินแบบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำใช้ในยาที่ควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญ
- ใช้เตรียมยาเพสท์ ยาเหน็บ
- ใช้เป็นสารยึดเกาะสำหรับยาเม็ดและเป็นสารเคลือบ
- เป็นสารเพิ่มความหนืดในยาน้ำและยากึ่งแข็ง

ความเข้ากันได้ (Compatability): สามารถทำปฏิกิริยากับกรดและเบส ถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดอะมิโน ทำปฏิกิริยากับอัลดีไฮด์และน้ำตาลกลุ่มอัลดีไฮด์ โพลิเมอร์ที่มีประจุบวกหรือประจุลบ อิเล็กโตรไลต์ สารออกซิไดซ์ และสารลดแรงตึงผิว ตกตะกอนในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ เกลือปรอท และยังถูกทำให้เหลวได้ด้วยแบคทีเรีย

ความคงตัวและการเก็บรักษา : คงตัวในอากาศ ในรูปสารละลายสามารถเก็บได้นานในที่เย็น แต่อาจเสื่อมสลายจากเชื้อแบคทีเรีย ที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส สารละลายของเจละตินอาจเกิด depolymerization และลดความแข็งแรงของเจลและจะลดลงไปครึ่งหนึ่งเมื่อได้รับความร้อนสูง 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

2.10 คาร์โบเมอร์ 940 (Carbomer 940)[5]



รูปที่ 7 แสดงสูตรโครงสร้างของคาร์โบเมอร์

ชื่อทางเคมี : Carbomer 940

CAS register number : [9007-17-4]

ชื่ออื่นๆ (additional names): Acrypol; Acritamer; acrylic acid polymer; carbomera; Carbopol; carboxy polymethylene; polyacrylic acid; carboxyvinyl polymer;

Pemulen; Tego Carbomer

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 104,400 g/mol

ลักษณะภายนอก (description) : ผงสีขาว ปุย เป็นกรด ดูดความชื้นง่าย มีกลิ่นเล็กน้อย มีแบบแกรนูล

ค่าการละลาย (solubility) : พองตัวในน้ำ เอทานอล 95% กรีเซอริน และเมื่อทำให้เป็นกลาง โดยคาร์โบเมอร์จะไม่ละลายแต่จะเกิดการพองตัวเป็นโครงสร้างที่เชื่อมต่อกัน 3 มิติเป็นไมโครเจล

ความเป็นกรด/เบส : pH = 2.5-4.0 ในความเข้มข้น 0.2 % w/v

pH = 2.5-3.0 ในความเข้มข้น 1% w/v

ความหนาแน่น : แบบ bulk 0.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับผง 0.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับแกรนูล แบบ tapped 0.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับผง 0.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับแกรนูล

จุดหลอมเหลว : สลายตัวที่ 260 องศาเซลเซียส ภายใน 30 นาที

ปริมาณน้ำ : 2% w/w แต่คาร์โบเมอร์ดูดความชื้นได้ง่าย จึงมีปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 50% เท่ากับ 8-10% ซึ่งความชื้นจะทำให้ยากต่อการเก็บรักษา เพราะกระจายในน้ำได้ยาก

ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.41

การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- เป็นสารปรับเปลี่ยนการไหลของเภสัชภัณฑ์ในรูปแบบของเหลวและกึ่งแข็ง สำหรับครีม เจล โลชั่นและยาขี้ผึ้งสำหรับป้ายตา เป็นต้น
- คาร์โบเมอร์ที่มีเอทธิลแอซิเตทในปริมาณต่ำ เช่น คาร์โบเมอร์ 971P NF หรือคาร์โบเมอร์ 974P NF จะใช้ในยาเตรียมสำหรับรับประทาน
- เป็นสารยึดเกาะและสารควบคุมการปลดปล่อยตัวยาในตำรับยาเม็ด
- เป็น bioadhesive สำหรับยาออกฤทธิ์เฉพาะที่ แผ่นแปะ oral mucoadhesive
- เป็น emulsifying agent ในการเตรียม อีมัลชั่นชนิดน้ำมันในน้ำสำหรับใช้ภายนอก
- เป็นสารเพิ่มความหนืดในยาเตรียมอีมัลชั่น
- มีการใช้ในทางเครื่องสำอางและในทางยา เช่น ใช้ในผู้ป่วยที่มีอาการตาแห้งปานกลางหรือรุนแรง
- ใช้เป็นสารก่อเจล

ตารางที่ 3 แสดงความเข้มข้นในการใช้ประโยชน์ของคาร์โบเมอร์

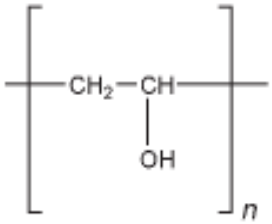
Table I: Uses of carbomers.

Use	Concentration (%)
Emulsifying agent	0.1–0.5
Gelling agent	0.5–2.0
Suspending agent	0.5–1.0
Tablet binder	0.75–3.0
Controlled-release agent	5.0–30.0

ความเข้ากันได้ (Compatability): ไม่เข้ากันกับฟีนอล โพลิเมอร์ชนิดประจุบวก กรดแก่ อิเล็กโตรไลต์ปริมาณสูง โดยทำให้สีเปลี่ยน และควรหลีกเลี่ยงการใช้สารกันเสียหรือใช้ในปริมาณต่ำ เหล็กหรือโลหะทรานซิชั่นสามารถเร่งการเสื่อมสลายของคาร์โบเมอร์ สารที่มีหมู่อะมิโนสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับคาร์โบเมอร์ซึ่งแก้ไขโดยการปรับค่าพีเอชของการกระจายหรือการละลายโดยใช้แอลกอฮอล์และโพลีออลที่เหมาะสม

ความคงตัวและการเก็บรักษา : มีความคงตัว สามารถให้ความร้อนได้ไม่เกิน104 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 2 ชั่วโมง โดยไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเป็นthickening agent แต่หากได้รับความร้อนสูงเกินไปจะทำให้สีจางลงและทำให้ความคงตัวลดลง เชื้อราและจุลินทรีย์ต่างๆ สามารถเจริญได้ จึงควรใช้สารกันเสีย เช่น 0.1% w/v chlorocresol, 0.18% w/v methylparaben–0.02%w/v propylparaben, หรือ 0.1% w/v thimerosal การใช้ benzalkonium chloride หรือ sodium benzoateในความเข้มข้นสูง (0.1% w/v) อาจทำให้ขุ่นและลดความหนืดลง สำหรับเจลที่มีน้ำสามารถทำให้ปราศจากเชื้อโดยการใช้ความร้อนชื้น (autoclave) สำหรับคาร์โบเมอร์แบบผงควรเก็บในภาชนะที่ป้องกันความชื้นและปิดสนิท

2.11 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol : PVA)[5]



รูปที่ 8 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

ชื่อทางเคมี : Ethenol, homopolymer

CAS register number : [9002-89-5]

ชื่ออื่นๆ (additional names): Airvol; Alcotex; Celvol; Elvanol; Gelvatol; Gohsenol; Lemol; Mowiol; poly(alcohol vinylicus); Polyvinol; PVA; vinyl alcohol

Polymer

สูตรทางเคมี : $(C_2H_4O)_n$

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 20,000–200,000 g/mol

ลักษณะภายนอก (description) : ผงสีขาวครีม ไม่มีกลิ่น

ค่าการละลาย (solubility) : ละลายในน้ำ ละลายในเอทานอล 95% ได้น้อย ไม่ละลายในตัวทำละลายออร์แกนิก การละลายจำเป็นต้องมีการกระจายในน้ำที่อุณหภูมิห้องตามด้วยการให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และทำการผสมจนสารละลายที่ร้อนเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง

จุดหลอมเหลว : 228 องศาเซลเซียส สำหรับ fully hydrolyzed grades

180–190 องศาเซลเซียส สำหรับ partially hydrolyzed grades

ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.19–1.31 ในรูปของแข็ง ที่ 25 องศาเซลเซียส 1.02 ในสารละลายเข้มข้น 10% w/v ที่ 25 องศาเซลเซียส

การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของอิมัลชั่นในสูตรตำรับยาใช้ภายนอกและยาตา
- เป็นสารเพิ่มความหนืดในตำรับที่ต้องการความหนืด เช่น ยาหยอดตา
- เป็นสารช่วยหล่อลื่นสำหรับน้ำตาเทียมและน้ำยาสำหรับคอนแทคเลนส์
- ใช้ในสูตรตำรับยารับประทานแบบออกฤทธิ์เนิ่น แผ่นแปะ

ตารางที่ 4 แสดงการใช้ประโยชน์ของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์

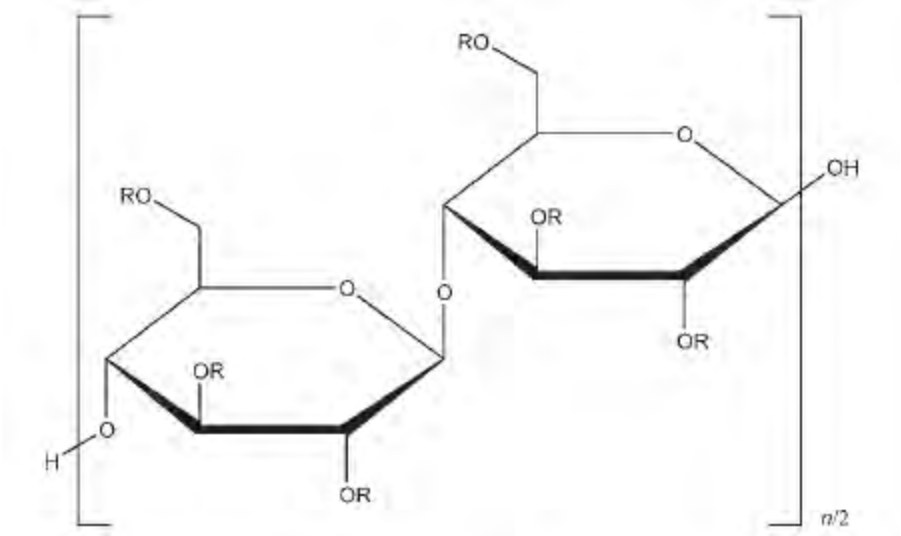
Table II: Uses of polyvinyl alcohol.

Use	Concentration (%)
Emulsions	0.5
Ophthalmic formulations	0.25–3.00
Topical lotions	2.5

ความเข้ากันได้ (Compatability) : สามารถทำปฏิกิริยา esterification กับสารประกอบที่มี secondary hydroxy groups สามารถเสื่อมสลายได้ในกรดแก่ และละลายได้ในกรดอ่อนและเบส ไม่เข้ากันกับเกลืออินออร์แกนิกเข้มข้นสูง โดยเฉพาะเกลือซัลเฟตและฟอสเฟต สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 5% สามารถเกิดการตกตะกอนได้จากฟอสเฟต โพลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเกิดเป็นเจลได้ด้วยบอแรกซ์

ความคงตัวและการเก็บรักษา : ทนแสง มีความคงตัวเมื่อเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท เก็บในที่แห้งและเย็น ควรมีการใช้สารกันเสียเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บ โพลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถเสื่อมสลายอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และเสื่อมสลายอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

2.12 ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl cellulose : HPC)[5]



R is H or $[CH_2CH(CH_3)O]_mH$ where *m* is a common integral number of cellulose derivatives.

รูปที่ 9 แสดงสูตรโครงสร้างของไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส

ชื่อทางเคมี : Cellulose, 2-hydroxypropyl ether

CAS register number: [9004-64-2]

ชื่ออื่นๆ (additional names): Cellulose, hydroxypropyl ether; E463; hydroxypropylcellulosum; hyprolose; Klucel; Nisso HPC; oxypropylated cellulose.

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 50,000–1,250,000 g/mol

ลักษณะภายนอก (description) : ผงสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่นและรส

ค่าการละลาย (solubility) : ละลาย 1 ใน 2 ส่วนของน้ำ 1ใน 10 ส่วนของไดคลอโรมีเทน 1ใน 2.5 ส่วนของ เอทานอล 95% 1 ใน 2 ส่วนของเมทานอล 1 ใน 5 ส่วนของโพรพีลีนไกลคอล ไม่ค่อยละลายในไฮโดรคาร์บอน กรีเซอรินและน้ำมัน ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสละลายได้ดีในน้ำอุณหภูมิต่ำกว่า 38 องศาเซลเซียส ได้เป็นสารละลายใสหรือเป็นคอลลอยด์ และพองตัวในน้ำร้อนอุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส และสามารถละลายในตัวทำละลายออร์แกนิกที่มีขั้วทั้งที่ร้อนและเย็น

ความเป็นกรด/เบส : pH = 5.0–8.5 ในความเข้มข้น 1% w/w

ความหนาแน่น : ประมาณ 0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

จุดหลอมเหลว : เริ่มอ่อนนิ่มที่ 130 องศาเซลเซียส และไหม้ที่ 260–275 องศาเซลเซียส

ปริมาณน้ำ :

ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.2224 สำหรับอนุภาค 1.0064 ในสารละลายเข้มข้น 2% w/v ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- ในยาเม็ดรับประทาน ใช้เป็นสารยึดเกาะ โดยใช้ในความเข้มข้น 2-6%w/w น้ำยาเคลือบฟิลม์ โดยใช้ในความเข้มข้น 5% w/w และใช้เป็นสารควบคุมการปลดปล่อยยาให้นานขึ้น โดยใช้ในความเข้มข้น 15–35% w/w การเติมสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบจะช่วยเพิ่มความหนืดของไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส เป็นการลดอัตราเร็วในการปลดปล่อยยา
- ในตำรับยาใช้ภายนอก ใช้ในแผ่นแปะปลดปล่อลตัวยาและยาตา
- ใช้เป็น สารก่ออิมัลชั่นและสารเพิ่มความคงตัวในทางเครื่องสำอางและอาหาร

ความเข้ากันได้ (Compatability) : ไม่เข้ากันกับสารกลุ่มฟีนอล เช่น เมทธิลพาราเบนและโพรพิลพาราเบน และโพลิเมอร์ที่มีประจุลบจะทำให้ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น ความเข้ากันได้กับเกลืออินออร์แกนิกขึ้นกับชนิดของเกลือและความเข้มข้นของเกลือดังตาราง

ตารางที่ 5 แสดงความเข้ากันได้ของไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสกับเกลืออินออร์แกนิก

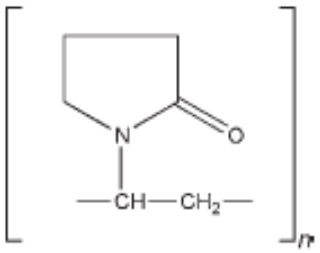
Table VI: Compatibility of hydroxypropyl cellulose (*Nisso HPC*) with inorganic salts in aqueous solutions.[a]

Salt	Concentration of salt (% w/w)						
	2	3	5	7	10	30	50
Aluminum sulfate	S	S	I	I	I	I	I
Ammonium nitrate	S	S	S	S	S	I	I
Ammonium sulfate	S	S	I	I	I	I	I
Calcium chloride	S	S	S	S	S	T	I
Dichromic acid	S	S	S	S	S	S	S
Disodium hydrogenphosphate	S	S	I	I	I	I	I
Ferric chloride	S	S	S	S	S	I	I
Potassium ferrocyanide	S	S	S	I	I	I	I
Silver nitrate	S	S	S	S	S	S	T
Sodium acetate	S	S	S	S	I	I	I
Sodium carbonate	S	S	I	I	I	I	I
Sodium chloride	S	S	S	S	I	I	I
Sodium nitrate	S	S	S	S	S	I	I
Sodium sulfate	S	S	I	I	I	I	I
Sodium sulfite	S	S	I	I	I	I	I
Sodium thiosulfate	T	T	T	I	I	I	I

(a) S, completely soluble; T, turbid white; I, insoluble.

ความคงตัวและการเก็บรักษา : ในรูปสารละลายมีความคงตัวที่พีเอช 6.0-8.0 ที่พีเอชต่ำจะเกิดแอซิดไฮโดรไลซิส สายโพลิเมอร์ถูกตัด ทำให้ความหนืดลดลง ที่พีเอชสูงจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โพลิเมอร์ถูกทำลาย ทำให้ความหนืดลดลงเช่นกัน การเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 45 องศาเซลเซียส จะทำให้ความหนืดลดลงอย่างรวดเร็ว แต่สามารถกลับมาหนืดขึ้นเมื่อเย็นลง ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสสามารถถูกทำลายได้โดยเอนไซม์ของเชื้อจุลินทรีย์ จึงควรเพิ่มสารกันเสียลงในตำรับที่มีน้ำ สำหรับไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสในรูปผงแห้งควรเก็บในภาชนะปิดสนิทในที่แห้งและเย็น

2.13 โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 (Polyvinylpyrrolidone K-30 : PVP K30) [5]



รูปที่ 10 แสดงสูตรโครงสร้างของโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30

ชื่อทางเคมี : Poly (1-vinyl-2-pyrrolidinone)

สูตรทางเคมี : $(C_6H_9NO)_n$

CAS register number : [9003-39-8]

ชื่ออื่นๆ (additional names): : Plasdone K-30, Agrimer, Albigen A, Hemodesis, K30, Luviskol K30, Plasdone, Povidone, PVPP, PVP-K 30; PVP; Polyvinylpyrrolidone; Poly[1-(2- oxo-1-pyrrolidinyl) ethylene); Povidone K-30; 1-Ethenyl-2- pyrrolidinone polymers; 2-Pyrrolidinone, 1-ethenyl, homopolymer; 2-Pyrrolidinone, 1-vinyl-, polymers; NVinylpyrrolidinone polymer; N-Vinylbutyrolactam polymer; N-Vinylpyrrolidone polymer; Poly (n-vinlybutyrolactam); Poly (1-vinylpyrrolidinone); Poly (N-vinylpyrrolidinone); Vinylpyrrolidinone polymer; Vinylpyrrolidone polymer

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 50,000 g/mol

ลักษณะภายนอก (description) : ผงละเอียดสีขาวหรือครีม มีกลิ่นเล็กน้อย ดูดความชื้น

ค่าการละลาย (solubility) : ละลายได้ดีในกรด คลอโรฟอร์ม เอทานอล 95% คีโตน เมทานอล และน้ำ ไม่ละลายในอีเทอร์ ไฮโดรคาร์บอน น้ำมันแร่

ความเป็นกรด/เบส : pH = 3.0–7.0 ในความเข้มข้น 5 % w/v

ความหนาแน่น : แบบ bulk 0.29–0.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แบบ tapped 0.39–0.54 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แบบ true 1.180 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

จุดหลอมเหลว : 150 องศาเซลเซียส

การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- เป็นสารยึดเกาะในตำรับยาเม็ด
- เป็นสารช่วยละลายในตำรับยารับประทานและยาฉีด
- เป็นสารเคลือบหรือเป็นสารยึดเกาะในการเคลือบตัวยาสำคัญลงบนผิวเม็ดแกน

- เป็นสารช่วยแขวนลอยหรือสารเพิ่มความหนืดในตำรับยาทาภายนอกหรือยารับประทานรูปแบบยาน้ำใสหรือยาแขวนตะกอน

ตารางที่ 6 แสดงการใช้ประโยชน์ของโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน

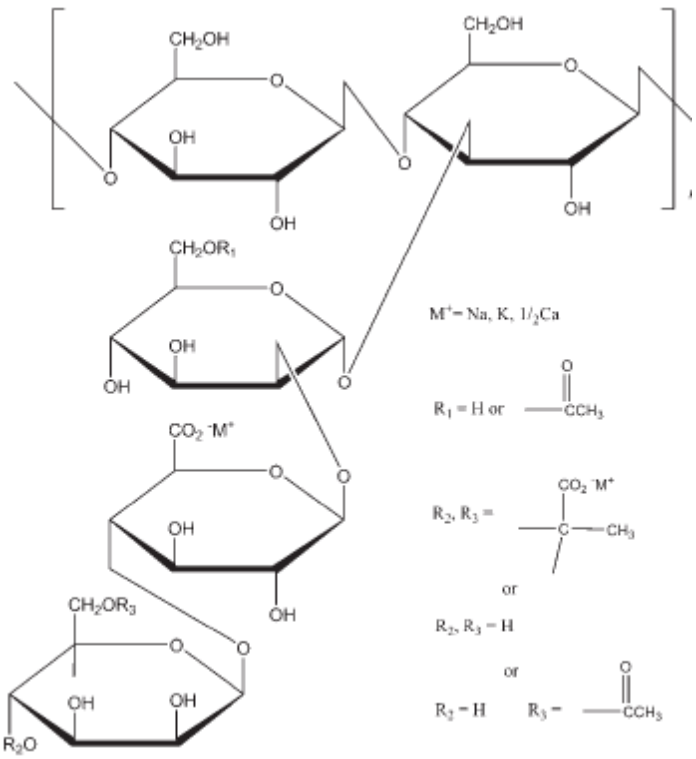
Table II: Uses of povidone.

Use	Concentration (%)
Carrier for drugs	10–25
Dispersing agent	Up to 5
Eye drops	2–10
Suspending agent	Up to 5
Tablet binder, tablet diluent, or coating agent	0.5–5

ความเข้ากันได้ (Compatability) : สามารถเข้ากันได้กับสารละลายของเกลืออินออร์แกนิก เรซินและสารเคมีอื่นๆ สารกันเสีย เช่น ไทเมอโรซอล อาจส่งผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน

ความคงตัวและการเก็บรักษา : สามารถทนความร้อนในช่วง 110-130 องศาเซลเซียส ได้ในเวลาสั้นๆ สำหรับสารละลายที่มีน้ำจะไวต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ควรเก็บในภาชนะปิดสนิท ป้องกันความชื้น ในที่แห้งและเย็น

2.14 แซนแทน กัม (Xanthan gum)[5]



รูปที่ 11 แสดงสูตรโครงสร้างของแซนแทน กัม

ชื่อทางเคมี : Xanthan gum

CAS register number : [11138-66-2]

ชื่ออื่นๆ (additional names): Corn sugar gum; E415; Grindsted; Keldent; Keltrol; polysaccharide B-1459; Rhodicare S; Rhodigel; Vanzan NF; xanthani gummi; Xantural

สูตรทางเคมี : $(C_{35}H_{49}O_{29})_n$

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) : 1,000,000 g/mol

ลักษณะภายนอก (description) : ผงละเอียดสีขาวหรือครีม ไม่มีกลิ่น ไหลดี

ค่าการละลาย (solubility) : ไม่ค่อยละลายในเอทานอล และอีเทอร์ ละลายได้ในน้ำเย็นและน้ำอุ่น

ความเป็นกรด/เบส : pH = 6.0–8.0 ในความเข้มข้น 1% w/v

จุดหลอมเหลว : 270 องศาเซลเซียส

ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.600 ที่ 25 องศาเซลเซียส

การใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม :

- เป็นสารช่วยแขวนตะกอนในยารับประทาน ยาใช้ภายนอก เครื่องสำอางและอาหาร เมื่อผสมกับสารช่วยแขวนตะกอนอินออร์แกนิก เช่น แมกนีเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต จะเกิด synergistic rheological effects
- เป็นสารเพิ่มความแข็งและสารก่ออิมัลชั่น
- เป็นสารก่อเจลที่ให้การไหลแบบ pseudoplastic behavior สำหรับยาใช้ภายนอก
- ใช้ในการเตรียมยาเม็ดออกฤทธิ์เนิ่น โดยสามารถพองตัวในน้ำได้สูง อาจใช้ร่วมกับ ไคโตซาน โซเดียมอัลจิเนต กาแลคโตแมนแนน
- เป็นสารยึดเกาะร่วมกับผงบุกในระบบนำส่งยาเข้าสู่ลำไส้
- ใช้เพิ่มการยึดติดที่เยื่อเมือกในตำรับยาที่ใช้ในช่องคลอด
- อาจใช้เดี่ยวๆหรือใช้ร่วมกับคาร์โบพอล 974P เป็นสารช่วยในการยึดติดกับเยื่อเมือกในยาที่นำส่งยาทางช่องปาก

ความเข้ากันได้ (Compatability) : ไม่เข้ากันกับสารออกซิไดซ์ สารลดแรงตึงผิว โพลิเมอร์หรือสารกันเสียที่มีประจุบวก สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ และ amphoteric เข้มข้นมากกว่า 15% w/v อาจทำให้ตกตะกอน ในสภาวะเบสหรือมีประจุของโลหะ เช่น แคลเซียม อาจก่อให้เกิดเป็นเจลหรือตกตะกอนได้ ซึ่งสามารถยับยั้งโดยการเติม glucoheptonate sequestrant การใช้บอเรตปริมาณน้อยกว่า 300 ppm) จะช่วยให้เกิดเป็นเจล และควรควบคุมไม่ให้พีเอชของตำรับน้อยกว่า 5 การเติมเอทีลีนไกลคอล ซอร์บิทอลหรือแมนนิทอลจะป้องกันการเกิดเจล และแซนแทน กัมเข้ากันได้กับสารเพิ่มความหนืดหลายชนิด กรดแก่ เกลืออินออร์แกนิกเข้มข้นถึง 30% คงตัวในตัวทำละลายออร์แกนิก เช่น อะซีโตน เอทานอล เมทานอลที่มีมากถึง 60% ได้โดยไม่ตกตะกอน

ความคงตัวและการเก็บรักษา : คงตัวในช่วงพีเอช 3-12 ที่อุณหภูมิสูง ความหนืดจะลดลง ควรเก็บในภาชนะปิดสนิท ในที่แห้งและเย็น

2.15 ไฮโดรเจล[9]

ไฮโดรเจล เป็นโครงสร้าง 3 มิติของโพลิเมอร์ทั้งแบบที่มาจากธรรมชาติ และการสังเคราะห์ที่มีการเชื่อมต่อกันเป็นร่างแหโดยปฏิกิริยาระหว่างโมโนเมอร์ หรือเกิดพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างสายโพลิเมอร์ จนสามารถกักเก็บน้ำเข้าไปอยู่ในโครงสร้าง

ประเภทของไฮโดรเจล[9]

แบ่งตามแหล่งที่พบ[9]

- โพลิเมอร์จากธรรมชาติ (Natural Polymers) ได้แก่ Chitosan, Alginate, Collagen, Gelatin และ Hyaluronic acid เป็นต้น
- โพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic Monomers) ได้แก่ Hydroxyethylmethacrylate (HEMA) , N-(2-Hydroxy propyl)methacrylate (HPMA) , N-Vinyl-2-pyrrolidone (NVP), N-isopropylacrylamide (NIPAMM) และ Vinyl acetate (VAc) เป็นต้น

ตารางที่ 7 แสดงโพลิเมอร์จากธรรมชาติและโพลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์

Natural Polymers	Synthetic Monomers
Chitosan	Hydroxyethylmethacrylate (HEMA)
Alginate	N-(2-Hydroxy propyl)methacrylate (HPMA)
Fibrin	N-Vinyl-2-pyrrolidone (NVP)
Collagen	N-isopropylacrylamide (NIPAMM)
Gelatin	Vinyl acetate (VAc)
Hyaluronic acid	Acryolic acid (AA)
Dextran	Methacrylic acid (MAA)
	Polyethylene glycol acrylate/methacrylate (IPEGA/PEGMA)
	Polyethylene glycol diacrylate/dimethacrylate (PEGDA/PEGDMA)

แบ่งตามลักษณะของการเชื่อมต่อกัน (crosslinking)[9,10]

- **Permanent / chemical gel** คือไฮโดรเจลที่มีกลไกในการก่อเจล โดยการเกิดพันธะโควาเลนท์เชื่อมต่อกันระหว่างโพลิเมอร์ที่ละลายในน้ำ (water-soluble polymers) หรือการเปลี่ยนกลับของโพลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic polymers) เป็น โพลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymers) จนเป็นร่างแห เมื่อโพลิเมอร์เหล่านี้สัมผัสกับน้ำจะเกิดการพองตัวและแผ่โครงสร้างเป็นร่างแหเกิดเป็นเจลอย่างถาวร พันธะต่างๆไม่สามารถถูกทำลายได้ในอุณหภูมิที่สูงขึ้นและในขณะเดียวกันก็ไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ใหม่ที่อุณหภูมิต่ำ
- **Reversible / physical gel** คือ ไฮโดรเจลที่เกิดจากการพันกันของสายโพลิเมอร์หรือยึดติดกันด้วยแรงต่างๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก crystallization hydrophobic interactions และ protein interactions ซึ่งเจลเหล่านี้เป็น thermoreversible สามารถเปลี่ยนกลับไปมาระหว่างของแข็งและของเหลวได้ในอุณหภูมิต่างๆ

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของไฮโดรเจลได้หลายแบบ ดังตาราง

ตารางที่ 8 แสดงหลักการแบ่งประเภทของไฮโดรเจลในแบบต่างๆ[9]

Classification	**Contents**
Source	Natural Synthetic
Component	Homopolymer Copolymer Multipolymer
Preparation method	Simultaneous polymerization Crosslink of polymer
Electric charge	Nonion Anion Cation Zwitter ion
Physical structure	Amorphous Semicrystalline Hydrogen bonded
Crosslink	Covalent bond

	Intermolecular force
Functions	Biodegradable Stimuli responsive Superabsorbant
Physical appearance	Matrix Film Microsphere

ประโยชน์ของไฮโดรเจล[10]

ตารางที่ 9 แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์จากไฮโดรเจล[10]

Application	Polymers	References
Wound care	polyurethane, poly(ethylene glycol), poly(propylene glycol),	(Rosiak & Yoshii, 1999)
	poly(vinylpyrrolidone), polyethylene glycol and agar	(Benamer et al., 2006; Lugao & Malmonge, 2001; Rosiak et al., 1995)
	Xanthan, methyl cellulose	(2006)
	carboxymethyl cellulose, alginate, hyaluronan and other hydrocolloids	(Kim et al., 2005; Rosiak et al., 1995; Rosiak & Yoshii, 1999; Walker et al., 2003)
Drug delivery, pharmaceutical	poly(vinylpyrrolidone)	(Benamer et al., 2006; Rosiak et al., 1995)
	starch, poly(vinylpyrrolidone), poly(acrylic acid)	(Kumar et al., 2008; Spinelli et al., 2008)
	carboxymethyl cellulose, hydroxypropyl methyl cellulose	(Barbucci et al., 2004; Porsch & Wittgren, 2005)
	polyvinyl alcohol, acrylic acid, methacrylic acid	(Nho et al., 2005)
	chitosan, αβ-glycerophosphate	(Zhou et al., 2008)
	κ-carrageenan, acrylic acid, 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid	(Campo et al., 2009; Pourjavadi & Zohuriaan-Mehr, 2002)
	acrylic acid, carboxymethyl cellulose	(El-Naggar et al., 2006; Said et al., 2004)
Dental Materials	Hydrocolloids (Ghatti, Karaya, Kerensis gum)	(Al-Assaf et al., 2009)
Tissue engineering, implants	poly(vinylalcohol), poly(acrylic acid)	(Rosiak et al., 1995)
	hyaluronan	(Kim et al., 2005; Shu et al., 2004)
	collagen	(Drury & Mooney, 2003)
Injectable polymeric system	polyesters, polyphosphazenes, polypeptides, chitosan	(2010)
	β-hairpin peptide	(Yan et al., 2010)

Technical products (cosmetic, pharmaceutical)	Starch	(Trksak & Ford, 2008)
	gum arabic	(Al-Assaf et al., 2006b; Al-Assaf et al., 2007b; 2006; Katayama et al., 2008)
	xanthan, pectin, carrageenan, gellan, welan, guar gum, locust bean gum, alginate, starch, heparin, chitin and chitosan	(Phillips et al., 2003; Phillips et al., 2005)
Others (agriculture, waste treatment, separation, etc.)	Starch	(Jeremic et al., 1999; Trksak & Ford, 2008; Yoshii & Kume, 2003; Zhao et al., 2003b)
	xanthan, polyvinyl alcohol	(2002)
	poly (vinyl methyl ether), poly (N-isopropyl acrylamide)	(Bhardwaj et al., 2005; Sen, 2005)

2.15 แนวทางในการตั้งสูตรตำรับแผ่นไฮโดรเจล

ส่วนประกอบของสูตรตำรับไฮโดรเจล

1. **ตัวยาสำคัญ**
2. **สารก่อเจล (Gelling agent)** คือ แบ่งเป็นหลายกลุ่ม ดังนี้

- โพลิเมอร์หรือกัมจากธรรมชาติ เช่น อะคาเซีย Tragacanth เพคติน แซนแทน กัม เป็นต้น
- เซลลูโลส เช่น ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส (Hydroxyethylcellulose) ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl cellulose) เมทธิลเซลลูโลส (Methylcellulose) คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose)
- อะคลิลิค โพลิเมอร์ (Acrylic polymer) เช่น คาร์โบเมอร์
- Colliodally disperse solids เช่น Clay และไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส
- สารลดแรงตึงผิว เช่น โพล็อกซาเมอร์ 407
- อื่นๆ เช่น แวกซ์, อะลูมิเนียมสเตียเรท

3. **ตัวกลาง (Vehicle)** ได้แก่ น้ำ และอาจใช้ co-solvent เพื่อเพิ่มการละลายของตัวยาและเพิ่มการซึมผ่านผิวหนัง เช่น แอลกอฮอล์ โพรพีลีนไกลคอล กรีเซอริน โพลีเอทธิลีนไกลคอล เป็นต้น
4. **ส่วนประกอบอื่นๆ เช่น**

- **บัฟเฟอร์** ใช้เพื่อรักษาความเป็นกรดด่างให้อยู่ในช่วงที่ตัวยาสำคัญมีความคงตัว เช่น ฟอสเฟต ซิเตรท เป็นต้น
- **สารทำให้เปียก(Wetting agent)** เป็นสารที่ช่วยกระจายโพลิเมอร์หรือตัวยาสำคัญที่เปียกน้ำยากหรือไม่ละลายน้ำ เช่น สารลดแรงตึงผิว กรีเซอริน โพรพีลีนไกลคอล เป็นต้น

- **สารถนอม (Preservative)** มีความสำคัญและจำเป็นมากในสูตรตำรับไฮโดรเจล ซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำปริมาณมาก ทำให้ไวต่อการเจริญขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ เช่น เมทธิลพาราเบน โพรพิลพาราเบน
- **สารต้านออกซิเดชัน** ใช้กับสูตรตำรับที่มีตัวยาสำคัญที่เสื่อมสลายได้ง่ายโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ บิวทิเลตไฮดรอกซีโทลูอีน เป็นต้น
- **Chelating agent** สารที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับไอออนของโลหะ เช่น EDTA
- **สารเพิ่มการแพร่ผ่าน (Permeation enhancer)** เช่น ไดเมทธิลซัลฟ็อกไซด์ โซเดียมลอริลซัลเฟต
- **สารเพิ่มความชุ่มชื้น (Humectant/Emollient)** เช่น กรีเซอริน โพรพิลีนไกลคอล
- **น้ำหอม (Fragrance)**
- **สี (Color)**

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของไฮโดรเจล[11]

crosslinking ratio เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการพองตัวของไฮโดรเจล ซึ่งเป็นอัตราส่วนของโมลของสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinking agent) กับโมลของหน่วยโมโนเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบของโพลิเมอร์ ยิ่ง crosslinking ratio มีค่าสูง สารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (crosslinking agent) นั้น ยิ่งสามารถทำให้เกิดโครงสร้างของไฮโดรเจลที่แน่นขึ้นและมีการพองตัวที่น้อยกว่าไฮโดรเจลที่มี crosslinking ratio ต่ำกว่า โดยโครงสร้างทางเคมีของโพลิเมอร์อาจมีผลต่อ crosslinking ratio ของไฮโดรเจล โดยไฮโดรเจลที่มีหมู่ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) จะสามารถพองตัวได้สูงกว่าไฮโดรเจลที่มีหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) เนื่องจากหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group) จะยุบตัวเมื่ออยู่ในน้ำเพื่อลดการสัมผัสกับโมเลกุลของน้ำ การพองตัวของไฮโดรเจลที่ไวต่อสิ่งแวดล้อมจะถูกเปลี่ยนแปลงโดยตัวกระตุ้นที่จำเพาะต่างๆ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลาง Ionic strength และผลของ pH เป็นต้น

คุณสมบัติของไฮโดรเจล[9]

คุณสมบัติของไฮโดรเจลไม่ว่าจะเป็นสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและสมบัติเชิงกลมีผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ซึ่งสมบัติต่างๆ ของไฮโดรเจลนั้นขึ้นกับสภาวะของสิ่งแวดล้อม ลักษณะของสายโพลิเมอร์และโครงสร้างที่เป็นร่างแหของโพลิเมอร์ในสารละลายที่มีน้ำมีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติของไฮโดรเจล โดยคุณสมบัติต่างๆ ของไฮโดรเจล มีดังนี้

1) การพองตัวและความสามารถในการดูดซึม

สายโพลิเมอร์ในไฮโดรเจลจะมีการกระทำกับโมเลกุลของตัวทำละลายซึ่งมักจะเป็นน้ำและเกิดการขยายตัวเต็มที่ในตัวทำละลาย ขณะเดียวกันก็เกิดแรงดึงภายในสายโพลิเมอร์ โดยค่า Swelling ratio หรือปริมาณน้ำดังสมการมักใช้บอกถึงลักษณะการพองตัวของไฮโดรเจล

$$water\ content = \frac{weight\ of\ water}{weight\ of\ water + weight\ of\ gel} \times 100$$

$$swelling\ ratio = \frac{weight\ of\ swollen\ gel}{weight\ of\ dry\ gel}$$

ภาพที่ 12 แสดงสมการของ Swelling ratio และ ปริมาณน้ำของไฮโดรเจล

ลักษณะของการพองตัวมีความสำคัญต่อการนำไฮโดรเจลไปใช้ เนื่องจากสมดุลของ Swelling ratio ส่งผลต่อสัมประสิทธิการแพร่ของตัวถูกละลาย การเปียกและการเคลื่อนไหวของพื้นผิว ลักษณะภายนอกและสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติในการพองตัว เช่น ชนิดและส่วนประกอบของโมโนเมอร์ ความหนาแน่นของโครงสร้างที่เป็นร่างแหและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ pH และ ionic strength

2) การซึมผ่านของไฮโดรเจล (Permeability of Hydrogels)

การซึมผ่านของไฮโดรเจล คือ ความสามารถของไฮโดรเจลในการขนส่งสารอื่น เช่น ของเหลว เซลล์ หรือโปรตีน การซึมผ่านของน้ำและตัวทำละลายจากไฮโดรเจล สามารถควบคุมได้โดยการปรับความเข้มข้นของโมโนเมอร์

3) คุณสมบัติของพื้นผิวไฮโดรเจล

ไฮโดรเจลต้องมีความเข้ากันได้กับร่างกาย สามารถอยู่ในร่างกายแล้วไม่ก่อให้เกิดการกระตุ้นทางภูมิคุ้มกันหรือทำให้เกิดพิษ ซึ่งขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของไฮโดรเจลในการเข้าไปมีผลกระทบต่อโปรตีน เซลล์ และสิ่งมีชีวิต และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไฮโดรเจลนั้นเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของพื้นผิวไฮโดรเจล พื้นผิวของไฮโดรเจลอาจมีลักษณะหยาบ เรียบหรือเป็นชั้นๆ ซึ่งเกิดจากการมีส่วนประกอบต่างๆที่มีคุณสมบัติทางเคมีต่างกันหรืออาจมีความเป็นผลึกสูง มีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของพื้นผิวไฮโดรเจล ได้แก่ electron spectroscopy, secondary ion mass spectrometry, scanning electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, scanning tunneling microscopy และ atomic force microscopy

4) สมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล

สมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล ขึ้นกับส่วนประกอบและโครงสร้างของไฮโดรเจล เนื่องจากน้ำปริมาณสูงในไฮโดรเจลมักทำให้มีความแข็งแรงเชิงกลต่ำ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของไฮโดรเจล ได้แก่ ส่วนประกอบของโมโนเมอร์ร่วม ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกัน(crosslinking density) สภาวะในการเกิด polymerization และความสามารถในการพองตัว ตัวอย่างเช่น ผลของความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ crosslinker จะทำให้สายโพลิเมอร์อยู่ชิดกันมากขึ้น ทำให้การแพร่ผ่าน การปลดปล่อยสาร และอัตราการพองตัวลดลง ลักษณะเชิงกลของไฮโดรเจลสามารถเข้าใจได้ด้วยทฤษฎีของความยืดหยุ่น โดยมีสมมติฐานว่าเมื่อมีstress บนไฮโดรเจล ก็จะเกิดแรง strain ตอบสนองขึ้นมาทันที

บทที่ 3

3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 สารเคมี

1) แคลเซียมคลอไรด์ ไดไฮเดรต (Calcium Chloride Dihydrate)
2) แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium Sulphate)
3) แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium Chloride)
4) แอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium Nitrate)
5) ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส (Hydroxyethylcellulose : HEC)
6) เจละติน (Gelatin)
7) คาร์โบพอล 940 (Carbopol 940)
8) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol : PVA)
9) ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl cellulose : HPC)
10) โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 (Polyvinylpyrrolidone K-30 : PVP K30)
11) แซนแทน กัม (Xanthan gum)
12) แอลกอฮอล์ 95% (Alcohol 95%)
13) กลีเซอริน (Glycerin)
14) ไตรเอทาโนลามีน (Triethanolamine)
15) โพรพีลีนไกลคอล (Propylene glycol)
16) โพลีเอทธีลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol 400)
17) เมทธิลพาราเบน (Methylparaben)
18) โพรพิลพาราเบน (Propylparaben)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) กระดาษซีฟฟอน
2) ฟิลม์ CPP
3) ซองลามิเนต OPP/LLDPE
4) ถาดหลุมกลมเคลือบด้วยเทฟล่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซ็นติเมตร
5) ถาดสแตนเลสขนาด 5x9x1 นิ้ว
6) เครื่องซีลปากถุงแบบมือกด (Impulse bag sealer; DAKO SK-210,Korea)
7) เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (analytical balance; PB303, METTLER TOLEDO, Switzerland)
8) เครื่องวัดความชื้น (METTLER TOLEDO HR83 Moisture Analyzer, Mettler-Toledo GmbH 2003, Switzerland)

9) เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท

10) ปืนวัดอุณหภูมิอินฟาเรด (Fluke Model 65 Infrared Thermometer, Fluke Corporation, USA)

11) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Polystat cc1; Its [Thailand] co., LTD., Thailand)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นที่ 1

ทบทวนวรรณกรรม ศึกษาวิธีการประคบร้อนและการประคบเย็นเพื่อรักษาอาการฟกช้ำ กลไกในการเกิดความร้อนความเย็น การตั้งตำรับแผ่นแปะผิวหนัง การตั้งตำรับไฮโดรเจล คุณสมบัติสารที่นำมาใช้ในสูตรตำรับ

ขั้นที่ 2

ปฏิกิริยาการละลายของสารในน้ำที่ทำให้เกิดการคายและดูดความร้อนซึ่งเกิดเป็นอุณหภูมิร้อนและเย็นตามลำดับ โดย

ปฏิกิริยาคายความร้อน คือ

$$CaCl_2 + H_2O \rightarrow Ca^{+} + 2Cl^{-} + 2H^{+} + O^{2-}$$

Heat +12.5 kcal/mol

ปฏิกิริยาดูดความร้อน คือ

$$NH_4NO_3 + H_2O \rightarrow NH_4^{+} + NO_3^{-} + 2H^{+} + O^{2-}$$

Heat -6.47 kcal/mol

ขั้นที่ 3

กำหนดสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจลโดยมีส่วนประกอบ คือ สารก่อเจล สารกันเสีย และตัวทำละลาย โดยทดลองนำพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีสมบัติในการก่อเจล ได้แก่ คาร์โบพอล 940 ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส แซนแทน กัม เจละติน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส มาตั้งสูตรตำรับแผ่นแปะจำนวน 6 สูตร ซึ่งจะคงปริมาณของกรีเซอรินและสารกันเสีย (พาราเบนคอนเซนเทรต) ไว้ แล้วปรับปริมาณน้ำหนักรวมให้ครบ 50 กรัมด้วยน้ำ เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม และคัดเลือกพอลิเมอร์ที่ดีที่สุดสำหรับนำมาใช้เป็นแนวทางพัฒนาสูตรต้นแบบ โดยสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจลจำนวน 6 สูตร ได้แก่ สูตรA1-A6 ซึ่งมีส่วนประกอบดังตาราง

ตารางที่ 10 แสดงชนิดและร้อยละปริมาณของส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะสูตร A1-A6

สาร	หน้าที่	ปริมาณ (%)					
		สูตร A1	สูตร A2	สูตร A3	สูตร A4	สูตร A5	สูตร A6
คาร์โบพอล 940	สารก่อเจล	1.0	-	-	-	-	-
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	5.0	-	-	-	-
แซนแทน กัม	สารก่อเจล	-	-	2.0	-	-	-
เจละติน	สารก่อเจล	-	-	-	6.0	-	-
ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	-	-	-	15.0	-
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	สารก่อเจล	-	-	-	-	-	7.0
ไตรเอทาโนลามีน	ปรับพีเอช	pH 6-7	-	-	-	-	-
กลีเซอรีน	Humectant	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
พาราเบนคอนเซนเทรต	สารกันเสีย	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
น้ำ	ตัวทำละลาย	96.0	92.0	95.0	91.0	82.0	90.0
รวม	-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 11 แสดงชนิดและปริมาณของสารที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะสูตร A1-A6 จำนวน 50 กรัม

สาร	หน้าที่	ปริมาณ (กรัม)					
		สูตร A1	สูตร A2	สูตร A3	สูตร A4	สูตร A5	สูตร A6
คาร์โบพอล 940	สารก่อเจล	0.5	-	-	-	-	-
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	2.5	-	-	-	-
แซนแทน กัม	สารก่อเจล	-	-	1.0	-	-	-
เจละติน	สารก่อเจล	-	-	-	3.0	-	-
ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	-	-	-	7.5	-
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	สารก่อเจล	-	-	-	-	-	3.5
ไตรเอทาโนลามีน	ปรับพีเอช	pH 6-7	-	-	-	-	-
กลีเซอรีน	Humectant	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
พาราเบนคอนเซนเทรต	สารกันเสีย	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
น้ำ	ตัวทำละลาย	48.0	46.0	47.5	45.5	41.0	45.0
รวม	-	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0

วิธีการเตรียมแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับเป็นไปตามภาคผนวก ก.

ขั้นที่ 4

ทดลองนำสารก่อเจลที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีในการทดลองขั้นที่ 3 มาทำการศึกษาต่อ โดยตั้งสูตรตำรับให้เกิดการผสมกันระหว่างสารก่อเจลสองชนิด เพื่อคัดเลือกสูตรตำรับที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นสูตรตำรับต้นแบบในการแปรผันปริมาณสารอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 12 แสดงชนิดและร้อยละของส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะของสูตร C1-C6

สาร	หน้าที่	ปริมาณ (%)					
		สูตร C1	สูตร C2	สูตร C3	สูตร C4	สูตร C5	สูตร C6
คาร์โบพอล 940	สารก่อเจล	0.5	0.5	-	-	0.5	-
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	5.0	5.0	5.0	-	-
แซนแทน กัม	สารก่อเจล	-	-	-	-	0.5	-
เจละติน	สารก่อเจล	6.0	-	-	5.0	-	-
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	สารก่อเจล	-	-	-	-	-	7.0
โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30	สารก่อเจล	-	-	3.0	-	-	12.0
ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	-	-	-	-	-
ไตรเอทาโนลามีน	ปรับพีเอช	pH 6-7	pH 6-7	-	-	-	-
กลีเซอรีน	Humectant	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
พาราเบนคอนเซนเทรต	สารกันเสีย	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
น้ำ	ตัวทำละลาย	90.5	91.5	89.0	97.0	96.0	78.0
รวม	-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 13 แสดงชนิดและปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมแผ่นแปะสูตร C1-C6 จำนวน 50 กรัม

สาร	หน้าที่	ปริมาณ (กรัม)					
		สูตร C1	สูตร C2	สูตร C3	สูตร C4	สูตร C5	สูตร C6
คาร์โบพอล 940	สารก่อเจล	0.25	0.25	-	-	0.25	-
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	2.5	2.5	2.5	-	-
แซนแทน กัม	สารก่อเจล	-	-	-	-	0.25	-
เจละติน	สารก่อเจล	3.0	-	-	2.5	-	-
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์	สารก่อเจล	-	-	-	-	-	3.5
โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30	สารก่อเจล	-	-	1.5	-	-	6.0

ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส	สารก่อเจล	-	-	-	-	-	-
ไตรเอทาโนลามีน	ปรับพีเอช	pH 6-7	pH 6-7	-	-	-	-
กลีเซอรีน	Humectant	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
พาราเบนคอนเซนเทรต	สารกันเสีย	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
น้ำ	ตัวทำละลาย	45.25	45.75	44.5	43.5	48.0	39.0
รวม	-	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0

วิธีการเตรียมแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับเป็นไปตามภาคผนวก ก.

ขั้นที่ 5

คัดเลือกสูตรตำรับจากในขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 4 ที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีเหมาะแก่การนำมาเป็นสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจล ต้นแบบจำนวน 4 สูตร คือ สูตร P1-P4 เพื่อทำการพิจารณาลักษณะทางกายภาพ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับ (loss on drying) และวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการทดสอบแผ่นแปะแต่ละสูตรตำรับกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ในถุงเกลือขนาด 6 X 6 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นเกลือที่สามารถเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนและดูดความร้อนกับน้ำที่มีอยู่ในสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจล แล้วทำการเปรียบเทียบผลของแต่ละสูตรตำรับและคัดเลือกสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจลที่เหมาะสมแก่การนำมาเป็นสูตรตำรับต้นแบบในการแปรผันความเข้มข้นของสารก่อเจลต่อไป

ตารางที่ 14 แสดงชนิดและร้อยละของส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในสูตร P1-P4

สาร	ปริมาณ (%)			
	สูตร P1	สูตร P2	สูตร P3	สูตร P4
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	5.0	5.0	5.0	5.0
คาร์โบพอล 940	-	0.1	-	-
โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30	-	-	3.0	-
เจละติน	-	-	-	5.0
ไตรเอทาโนลามีน	-	pH 6-7	-	-
กลีเซอรีน	2.0	2.0	2.0	2.0
พาราเบนคอนเซนเทรต	1.0	1.0	1.0	1.0
น้ำ	92.0	91.90	89.0	87.0
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 15 แสดงชนิดและปริมาณของส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในสูตร P1-P4 จำนวน 50 กรัม

สาร	ปริมาณ (กรัม)			
	สูตร P1	สูตร P2	สูตร P3	สูตร P4
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	2.5	2.5	2.5	2.5
คาร์โบพอล 940	-	0.05	-	-
โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30	-	-	1.5	-
เจลละติน	-	-	-	2.5
ไตรเอทาโนลามีน	-	pH 6-7	-	-
กลีเซอรีน	1.0	1.0	1.0	1.0
พาราเบนคอนเซนเทรต	0.5	0.5	0.5	0.5
น้ำ	46.0	45.95	44.5	43.5
รวม	50.0	50.0	50.0	50.0

วิธีการเตรียมแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับเป็นไปตามภาคผนวก ก.

วิธีการเตรียมถุงที่ใช้ในการบรรจุเกลือขนาด 6 X 6 ตารางเซนติเมตรเป็นไปตามภาคผนวก ข 1.

วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแผ่นแปะไฮโดรเจลเมื่อประกบเข้ากับถุงเกลือเป็นไปตามภาคผนวก ค 1.

ขั้นที่ 6

ทดลองปรับเปลี่ยนชนิดของเกลือดูดความร้อน(ทำให้เกิดความเย็น) จากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นเกลือชนิดอื่นที่สามารถดูดความร้อนเมื่อเกิดปฏิกิริยากับน้ำ เนื่องจากเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์มีการเปียกน้ำที่ไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำการนำสารชนิดอื่นมาทดสอบการละลายในน้ำ ซึ่งสารที่นำมาทดสอบคือ แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต

ทดลองโดยเตรียมน้ำจำนวน 10 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร 3 บีกเกอร์ จากนั้นชั่งเกลือแต่ละชนิดมาจำนวน 4 กรัม วัดอุณหภูมิน้ำในบีกเกอร์เริ่มต้นด้วยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท บันทึกผลที่ได้เป็นนาทีที่ 0 จากนั้นนำเกลือทั้ง 3 ชนิดที่ชั่งเตรียมไว้แยกใส่ลงในน้ำ บีกเกอร์ละ1 ชนิด โดยไม่มีการคนเกลือให้ผสมกับน้ำ บันทึกอุณหภูมิที่ได้ทุก 30 วินาที เป็นเวลานาน 10 นาที เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเปียกน้ำของสารแต่ละชนิดและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น คัดเลือกเกลือที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมาใช้ในการทดลองต่อไป

ขั้นที่ 7

ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารก่อเจลทั้ง 2 ชนิด ซึ่งก็คือ ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละติน จากสูตรตำรับต้นแบบที่ได้จากการคัดเลือกในขั้นที่ 5 โดยการปรับอัตราส่วนของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสต่อเจละตินให้เป็น 3 อัตราส่วนด้วยกัน คือ หนึ่งต่อสอง (1:2), หนึ่งต่อหนึ่ง (1:1), สองต่อหนึ่ง (2:1) ร่วมกับการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำหนักรวมของสารก่อเจลทั้งสองชนิด (ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละติน) เป็น ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของสูตรตำรับ ได้ออกมาเป็นสูตรตำรับทั้งหมด 9 สูตร (T1-T9) เพื่อทดสอบความคงรูป ลักษณะทางกายภาพของแผ่นแปะที่ได้ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับ (Loss on drying) และวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงโดยทำการทดสอบกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมไนเตรต แล้วทำการคัดเลือกสูตรตำรับที่เหมาะสม

ตารางที่ 16 แสดงอัตราส่วนของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสต่อเจละติน และปริมาณน้ำหนักเจลรวมที่ใช้ในสูตรตำรับ

ปริมาณสารก่อเจล ในสูตรตำรับ	HEC: Gelatin		
	1:2	1:1	2:1
5 %	T1	T2	T3
10 %	T4	T5	T6
15 %	T7	T8	T9

ตารางที่ 17 แสดงชนิดและร้อยละของส่วนประกอบที่ใช้ในสูตรตำรับ T1-T9

สาร	ปริมาณ (%)								
	สูตร T1	สูตร T2	สูตร T3	สูตร T4	สูตร T5	สูตร T6	สูตร T7	สูตร T8	สูตร T9
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	1.67	2.5	3.33	3.33	5.0	6.67	5.0	7.5	10.0
เจละติน	3.33	2.5	1.67	6.67	5.0	3.33	10.0	7.5	5.0
กลีเซอรีน	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
พาราเบนคอนเซนเทรต	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
น้ำ	92.0	92.0	92.0	87.0	87.0	87.0	82.0	82.0	82.0
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ตารางที่ 18 แสดงชนิดและปริมาณสารที่ใช้ในสูตรตำรับ T1-T9 จำนวน 10 กรัม

สาร	ปริมาณ (กรัม)								
	สูตร T1	สูตร T2	สูตร T3	สูตร T4	สูตร T5	สูตร T6	สูตร T7	สูตร T8	สูตร T9
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	0.167	0.25	0.333	0.333	0.5	0.667	0.5	0.75	1.0
เจละติน	0.333	0.25	0.167	0.667	0.5	0.333	1.0	0.75	0.5
กลีเซอรีน	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
พาราเบนคอนเซนเทรต	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
น้ำ	9.2	9.2	9.2	8.7	8.7	8.7	8.2	8.2	8.2
รวม	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

วิธีการเตรียมแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับเป็นไปตามภาคผนวก ก.
วิธีการเตรียมถุงที่ใช้ในการบรรจุเกลือขนาด 5 X 5 ตารางเซนติเมตรเป็นไปตามภาคผนวก ข 2.
วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแผ่นแปะไฮโดรเจลเมื่อประกบเข้ากับถุงเกลือเป็นไปตามภาคผนวก ค 2.

หมายเหตุ – ทำการเตรียมแผ่นไฮโดรเจลทุกสูตร (T1- T9) ใหม่ทุกครั้งสูตรละ 3 รอบ และทำการทดลองต่างๆ จำนวน3 รอบ

ขั้นที่ 8

ทดลองปรับเปลี่ยนปริมาณเกลือทั้งเกลือที่ให้ความร้อน คือ แคลเซียมคลอไรด์ และปรับเปลี่ยนปริมาณเกลือที่ให้ความเย็น คือ แอมโมเนียมไนเตรต โดยคงปริมาตรบรรจุของถุงเกลือไว้เท่าเดิม และมีพื้นที่ส่วนที่ยอมให้น้ำผ่านไปสัมผัสกับเกลือเท่ากับ 5 X 5 ตารางเซนติเมตร เพื่อทดสอบหาปริมาณเกลือที่เหมาะสมต่อหน่วยพื้นที่สัมผัส ซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลเมื่อประกบติดกับถุงเกลือแล้ว

การทดลองที่ 8.1: ทดลองนำสาร $CaCl_2$ และ NH_4NO_3 ไปละลายน้ำและวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 0.5 นาที ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ตารางที่ 19 แสดงปริมาณสารที่ใช้ในการทดสอบการละลายในน้ำ เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

สาร	ปริมาณน้ำ (กรัม)	ปริมาณสาร(กรัม)			
แคลเซียมคลอไรด์	10	2	4	6	8
แอมโมเนียมไนเตรต	10	2	4	6	8

ทดลองโดยเตรียมน้ำจำนวน 10 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งสารแต่ละชนิดตามจำนวนดังตารางที่ 19 วัดอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นในบีกเกอร์ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท บันทึกผลที่ได้เป็นนาทีที่ 0 จากนั้นนำสารแต่ละชนิดที่ชั่งเตรียมไว้แยกใส่ลงในน้ำแต่ละบีกเกอร์ โดยไม่มีการคนเกลือให้ผสมกับน้ำ บันทึกอุณหภูมิที่วัดได้ทุก 30 วินาที เป็นเวลานาน 10 นาที เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเปียกน้ำของสารแต่ละชนิดและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น คัดเลือกสารที่มีความสามารถเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นในการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 8.2: ทดลองนำสาร $CaCl_2$ และ NH_4NO_3 ในปริมาณต่างๆ ดังตารางที่ 20 บรรจุลงถุงเกลือที่มีปริมาตรบรรจุและมีพื้นที่สัมผัสกับแผ่นไฮโดรเจลที่เท่ากัน (5 X 5 ตารางเซนติเมตร) มาวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด เพื่อหาปริมาณเกลือที่เหมาะสมต่อหน่วยพื้นที่สัมผัสกับแผ่นแปะไฮโดรเจล

ตารางที่ 20 แสดงปริมาณเกลือที่บรรจุลงในถุงเกลือ เพื่อศึกษาผลของปริมาณเกลือต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

สาร	ปริมาณสาร(กรัม)		
แคลเซียมคลอไรด์	4	6	8
แอมโมเนียมไนเตรต	4	6	8

และในขณะเดียวกันก็ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณของแผ่นไฮโดรเจลที่เหมาะสม โดยใช้สูตรตำรับที่ได้เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 8 (สูตร T6) ซึ่งเตรียมในปริมาณ 5.5 กรัมต่อแผ่น และปริมาณ 8 กรัมต่อแผ่น มาทดสอบกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมไนเตรตในปริมาณต่างๆ ตามตารางที่ 21 แล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นแปะเมื่อทำการเปลี่ยนปริมาณเกลือที่ใช้ เพื่อคัดเลือกปริมาณเกลือที่เหมาะสมร่วมกับปริมาณของแผ่นแปะไฮโดรเจลที่เหมาะสม

ตารางที่ 21 แสดงส่วนประกอบและน้ำหนักของไฮโดรเจล เพื่อศึกษาผลของปริมาณไฮโดรเจลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

สาร	ปริมาณ (กรัม)	
	สูตร T6 5.5 กรัม	สูตร T6 8 กรัม
ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส	0.37	0.53
เจลาติน	0.18	0.16
กลีเซอรีน	0.11	0.08
พาราเบนคอนเซนเทรต	0.56	0.02
น้ำ	4.78	6.96
รวม	5.5	8.0

วิธีการเตรียมแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับเป็นไปตามภาคผนวก ก.
วิธีการเตรียมถุงที่ใช้ในการบรรจุเกลือขนาด 6 X 6 ตารางเซนติเมตรเป็นไปตามภาคผนวก ข 2.
วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแผ่นแปะไฮโดรเจลเมื่อประกบเข้ากับถุงเกลือเป็นไปตามภาคผนวก ค 2.

ขั้นที่ 9

เตรียมแผ่นแปะไฮโดรเจลในลักษณะที่เตรียมพร้อมใช้จริง ซึ่งประกอบด้วย แผ่นไฮโดรเจลที่อยู่บนแผ่น adhesive สำเร็จรูป และแผ่นของถุงเกลือที่ติดอยู่กับ backing ที่เป็นแผ่นกาวหนึ่งด้าน จากนั้นทดลองให้อาสาสมัครลองใช้จริง จำนวน 10 คน เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อน ประคบเย็น ในรูปแบบการใช้แบบสอบถาม

ขั้นที่ 10

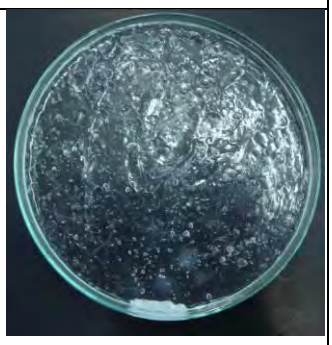
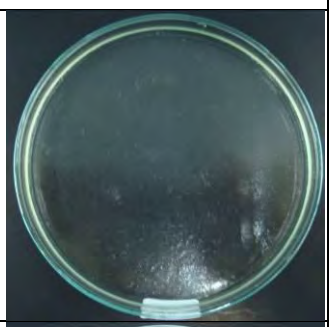
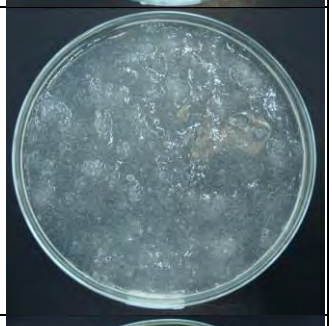
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาก่อนการตั้งสูตรตำรับต้นแบบ

จากการทดลองขั้นที่ 3 ตารางที่ 11 ในบทที่ 3 ได้นำพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นแผ่นแปะไฮโดรเจล มาตั้งเป็นสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจล พบว่า

ตารางที่ 22 แสดงลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับ A1-A8

สูตรตำรับ	ลักษณะทางกายภาพ	รูปภาพ
A1	พบว่าเจลที่ได้มีลักษณะใส มีความหนืดน้อย เนื้อเจลค่อนข้างเหลวและไหลได้ ไม่คงรูป ทำให้ผิวหน้าเรียบได้ยาก ไม่ทนต่อแรงเชิงกล ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ มีฟองอากาศอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก กำจัดออกได้ยาก หากใช้ความเข้มข้นของคาร์โบพอล 940 ต่ำ ทำให้มีปริมาณน้ำในเจลจำนวนมากและปลดปล่อยน้ำออกมามาก	
A2	พบว่าเจลที่ได้มีลักษณะที่ค่อนข้างมีสีเหลืองใส ผิวหน้าเรียบ คงรูป ทนแรงเชิงกลได้เล็กน้อย แต่มากกว่าสูตร A1 ไม่ค่อยมีฟองอากาศ ค่อนข้างหนืดหยุ่น ไม่เหนียวติดผิว สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้	
A3	พบว่าเจลที่ได้มีลักษณะขุ่นเหลืองเล็กน้อย ผิวหน้าไม่ค่อยเรียบ ค่อนข้างหนืด ไม่คงรูป สามารถไหลได้เล็กน้อย	
A4	พบว่าเจลที่ได้มีลักษณะใส สีเหลืองเล็กน้อย มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย ผิวหน้าเรียบเนียน ไม่มีฟองอากาศในเนื้อเจล คงรูปดีมากและทนต่อแรงเชิงกลได้ดีมาก ยืดหยุ่นดี	

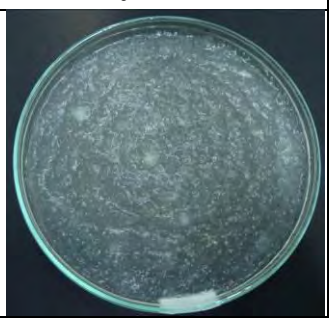
A5	พบว่าเจลที่ได้มีลักษณะใส ผิวหน้าเรียบมีฟองอากาศเล็กน้อย ไม่คงรูป มีความหนืดน้อย สามารถไหลได้เหนียวติดผิว ไม่สามารถที่จะขึ้นรูปให้เป็นแผ่นแปะได้	
A6	พบว่าเจลที่ได้ใส มีฟองอากาศเล็กน้อย มีความหนืดน้อย สามารถไหลได้ดี ไม่คงรูป ไม่สามารถขึ้นเป็นแผ่นได้ ไม่ทนต่อแรงเชิงกล	

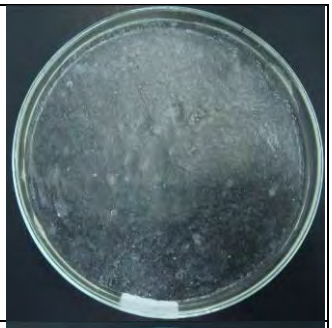
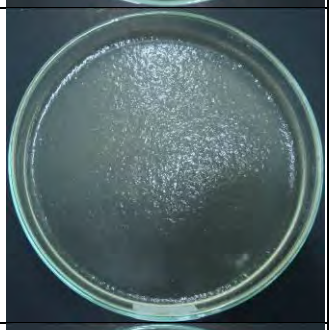
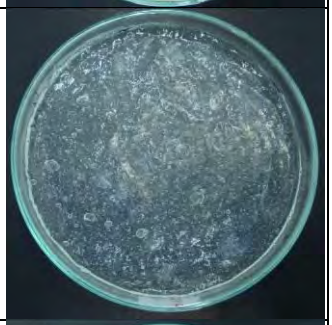
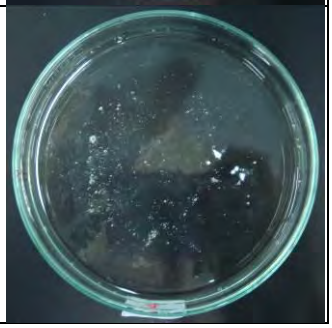
จากการทดลองใช้พอลิเมอร์ที่สามารถก่อเจลได้ชนิดต่างๆ มาตั้งเป็นสูตรตำรับและเตรียมเป็นแผ่นแปะไฮโดรเจล พบว่าพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลที่แตกต่างกัน

4.2 ลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับที่ทำการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้าด้วยกัน

จากวิธีการทดลองตามตารางที่ 13 ในบทที่ 3 พบว่าลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลสูตรในตำรับ C1-C8 เป็นดังนี้

ตารางที่ 23 แสดงลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับ C1-C8

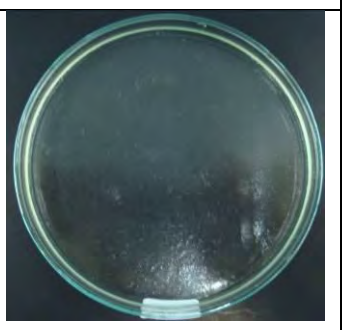
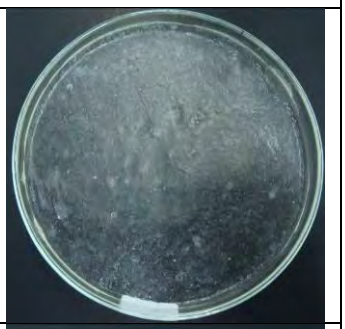
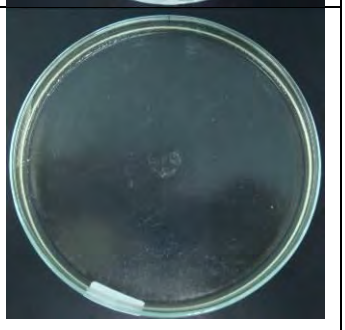
สูตรตำรับ	ลักษณะทางกายภาพ	รูปภาพ
C1	เป็นสูตรตำรับที่ได้นำคาร์โบพอล 940 ผสมเข้ากับ เจละติน พบว่าไฮโดรเจลที่ได้มีสีเหลืองขุ่น ไม่ค่อยคงรูป ทนต่อแรงเชิงกลได้เล็กน้อย มีฟองอากาศอยู่ภายในกำจัดออกได้ยาก ผิวหน้าไม่เรียบ ไม่สามารถขึ้นรูปให้เป็นแผ่นได้	

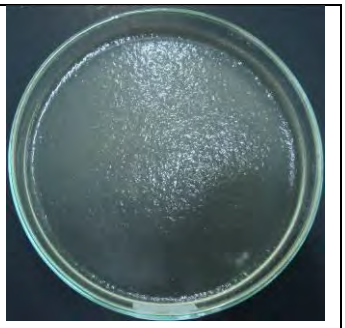
C2	เป็นสูตรตำรับที่นำคาร์โบพอล 940 ผสมเข้ากับไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะใส ผิวไม่เรียบ มีความหนืด มีฟองอากาศเล็กน้อย คงรูปเป็นแผ่นแปะได้ ยืดหยุ่นดี	
C3	เป็นสูตรตำรับที่นำไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส ผสมเข้ากับโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะใส สีเหลืองเล็กน้อย ผิวเรียบ ผิวหน้าเหนียวติดผิว ทนต่อแรงเชิงกลได้ดี หนืด คงรูปได้ดี ขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ดี	
C4	เป็นสูตรตำรับที่นำไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส ผสมเข้ากับเจละติน พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย สีเหลือง มีลักษณะค่อนแข็ง คงรูปได้ดี ทนต่อแรงเชิงกลได้ดีมาก สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ดี เนื้อเจลไม่ไหล	
C5	เป็นสูตรตำรับที่นำคาร์โบพอล 940 ผสมเข้ากับแซนแทน กัม พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะขุ่นขาว เนื้อเจลไม่คงรูป หนืดไม่ไหล มีฟองอากาศจำนวนมาก ไม่ทนต่อแรงเชิงกล	
C6	เป็นสูตรตำรับที่นำโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ผสมเข้ากับโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะใส ค่อนข้างเหลว ไม่คงรูป ไม่สามารถทำให้ขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ ผิวเรียบ มีฟองอากาศในเนื้อเจลเล็กน้อย	

4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นแปะไฮโดรเจลในขั้นตอนการทดลองที่ 5

ในเรื่องของลักษณะทางกายภาพ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับโดยใช้วิธีการ loss on drying และวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการทดสอบแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นเกลือที่เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำที่มีอยู่ในแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับแล้วจะเกิดการคายและดูดความร้อนออกมาทำให้ได้เป็นแผ่นประคบร้อนและประคบเย็น

ตารางที่ 24 แสดงลักษณะทางกายภาพและปริมาณน้ำในสูตรตำรับของสูตรตำรับ P1-P4

สูตรตำรับ	ปริมาณน้ำในสูตรตำรับ	ลักษณะทางกายภาพ	รูปภาพ
P1	88.97%	เป็นสูตรตำรับที่มีไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสเพียงอย่างเดียว พบว่าไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะใส มีสีค่อนข้างเหลือง ผิวหน้าเรียบ คงรูป ทนแรงเชิงกลได้เล็กน้อยแต่มากกว่าสูตร A1 ไม่ค่อยมีฟองอากาศ ค่อนข้างหนืด ยืดหยุ่น ไม่เหนียวติดผิว สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้	
P2	77.70%	เป็นสูตรตำรับที่นำคาร์โบพอล 940 ผสมกับไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะใส ผิวไม่เรียบ หนืด มีฟองอากาศเล็กน้อย มีความยืดหยุ่นดี คงรูปเป็นแผ่นแปะได้	
P3	84.47%	เป็นสูตรตำรับที่นำไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสผสมกับโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะใส สีเหลืองเล็กน้อย ผิวเรียบ ผิวหน้าเหนียวติดผิว ทนต่อแรงเชิงกลได้ดี มีความหนืด คงรูปได้ดี ขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ดี	

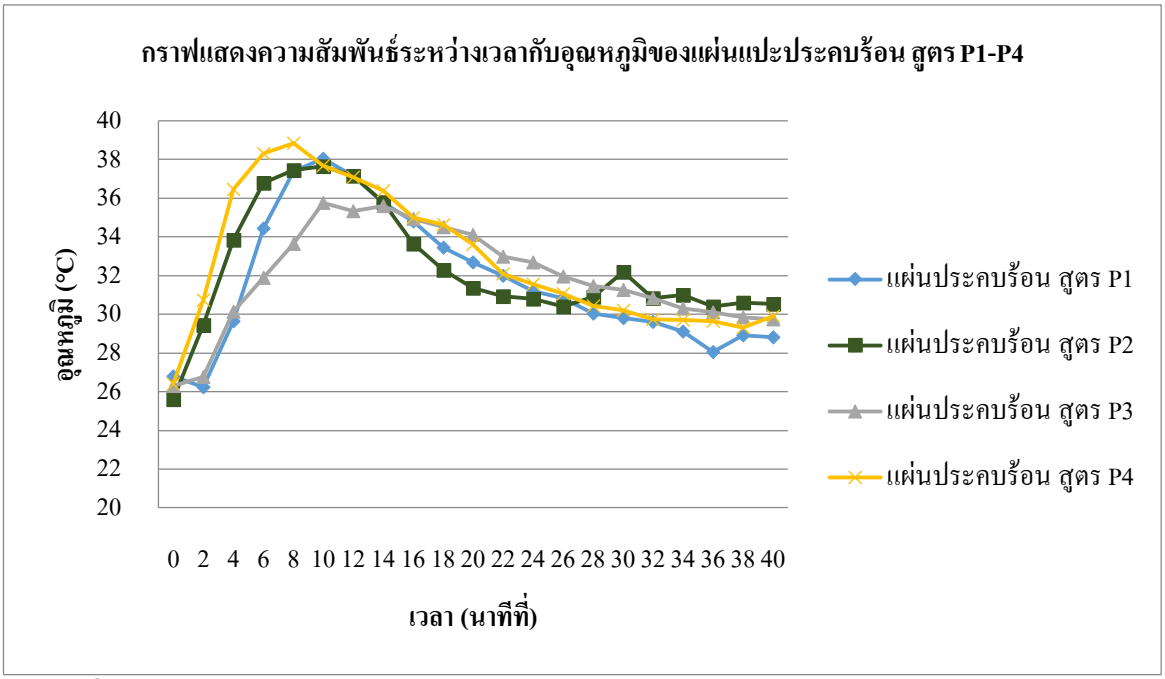
P4	85.49%	เป็นสูตรตำรับที่นำไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสผสมกับเจลละติน พบว่าได้ไฮโดรเจลที่มีลักษณะขุ่นเล็กน้อย สีเหลือง มีลักษณะค่อนแข็ง คงรูปได้ดี ทนต่อแรงเชิงกลได้ดีมาก สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ดี เนื้อเจลไม่ไหล	

จากตารางที่ 24 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับ พบว่าสูตรตำรับ P1 มีปริมาณน้ำในไฮโดรเจลเยอะที่สุด รองลงมาเป็นไฮโดรเจลสูตรตำรับ P4, P3 และ P2 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของไฮโดรเจลสูตรตำรับ P1-P4 พบว่าสูตรตำรับ P4 มีลักษณะของไฮโดรเจลที่ค่อนข้างแข็งและคงรูปได้ดีมากที่สุด สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ แต่มีข้อเสียคือมีสีเหลืองและมีลักษณะขุ่นเล็กน้อย ส่วนสูตรตำรับ P1 มีลักษณะไฮโดรเจลที่ใส ค่อนข้างคงรูปเป็นแผ่นแปะได้น้อยกว่าสูตร P4 ส่วนสูตรตำรับ P2 และ P3 มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับ P1 โดยสูตร P2 ไฮโดรเจลที่ได้จะมีลักษณะใสที่สุด

ตารางที่ 25 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจล และผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ P1-P4 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือที่บรรจุแคลเซียมคลอไรด์

นาทีที่	สูตร P1		สูตร P2		สูตร P3		สูตร P4	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)
0	26.8	-	25.6	-	26.3	-	26.4	-
2	26.3	-0.6	29.5	3.9	26.8	0.4	30.8	4.4
4	29.7	2.9	33.9	8.3	30.2	3.9	36.5	10.1
6	34.5	7.7	36.8	11.2	31.9	5.6	38.3	11.9
8	37.4	10.6	37.5	11.9	33.7	7.4	38.9	12.5
10	38.1	11.3	37.7	12.1	35.8	9.5	37.7	11.3
12	37.2	10.4	37.2	11.6	35.4	9.1	37.1	10.7
14	35.8	9.0	35.8	10.2	35.6	9.3	36.4	10.0
16	34.8	8.0	33.7	8.1	35.0	8.7	35.0	8.6
18	33.5	6.7	32.3	6.7	34.5	8.2	34.7	8.3
20	32.7	5.9	31.4	5.8	34.1	7.8	33.6	7.2

22	32.0	5.2	31.0	5.4	33.0	6.7	32.1	5.7
24	31.2	4.4	30.8	5.2	32.7	6.4	31.6	5.2
26	30.9	4.1	30.4	4.8	32.0	5.7	31.1	4.7
28	30.1	3.3	30.9	5.3	31.5	5.2	30.5	4.1
30	29.8	3.0	32.2	6.6	31.3	5.0	30.2	3.8
32	29.6	2.8	30.9	5.3	30.9	4.6	29.8	3.4
34	29.1	2.3	31.0	5.4	30.3	4.0	29.7	3.3
36	28.1	1.3	30.4	4.8	30.1	3.8	29.7	3.3
38	28.9	2.1	30.6	5.0	29.9	3.6	29.3	2.9
40	28.8	2.0	30.6	5.0	29.8	3.5	29.9	3.5



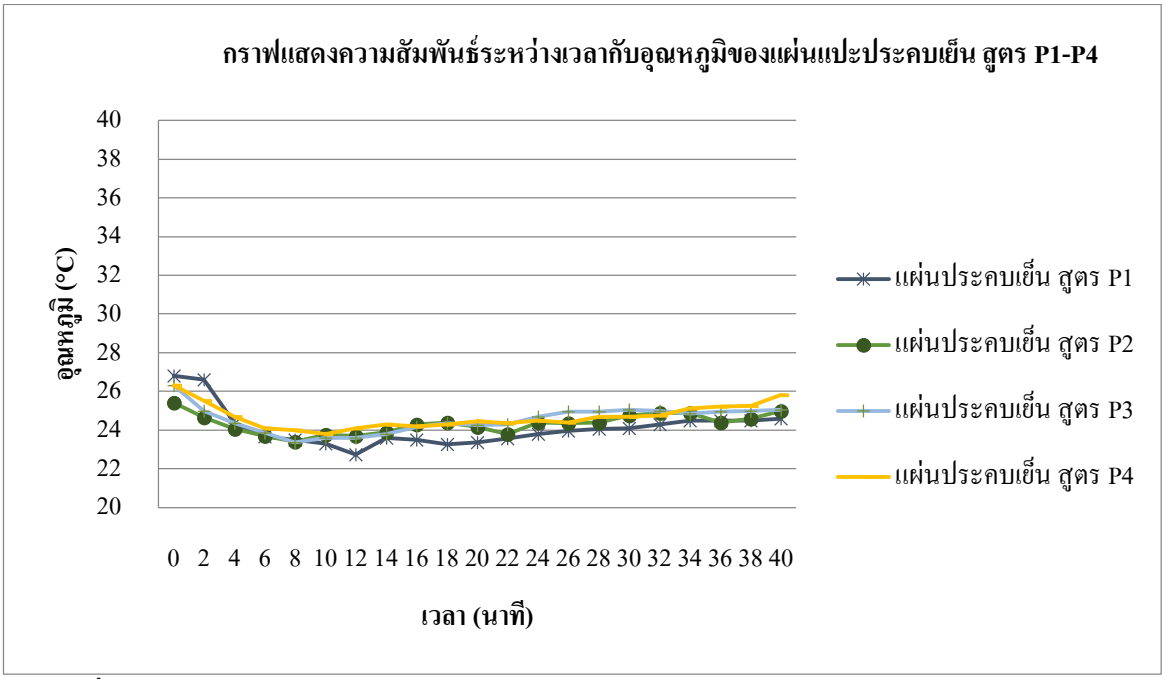
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อนสูตร P1-P4

จากตารางที่ 25 และรูปภาพที่ 13 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของไฮโดรเจลสูตรตำรับ P1-P4 พบว่าระยะเวลาที่แผ่นแปะเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด (onset) ของสูตร P4 เร็วที่สุด รองลงมาเป็นสูตร P2, P1 และ P3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ พบว่า สูตรตำรับ P4 ให้อุณหภูมิที่สูงสุด รองลงมาเป็นสูตร P2, P1 และ P3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลา (duration) ที่แผ่นแปะปลดปล่อยอุณหภูมิได้สูงกว่าอุณหภูมิร่างกาย

(33 °C) พบว่าสูตรตำรับ P4 สามารถปลดปล่อยอุณหภูมิได้นานที่สุด ส่วนสูตรตำรับ P2, P1 และ P3 ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 26 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจล และผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ P1-P4 เมื่อทดสอบกับถุงที่บรรจุเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์

นาทีที่	สูตร P1		สูตร P2		สูตร P3		สูตร P4	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่าง (°C)
0	26.8	-	25.4	-	26.3	-	26.3	-
2	26.6	-0.2	24.7	-0.8	25.0	-1.3	25.5	-0.8
4	24.4	-2.5	24.1	-1.4	24.4	-2.0	24.7	-1.6
6	23.7	-3.2	23.7	-1.7	23.9	-2.5	24.1	-2.2
8	23.5	-3.3	23.4	-2.0	23.4	-3.0	24.0	-2.3
10	23.3	-3.5	23.8	-1.7	23.6	-2.7	23.8	-2.5
12	22.8	-4.1	23.7	-1.7	23.6	-2.7	24.1	-2.2
14	23.6	-3.2	23.9	-1.5	23.8	-2.5	24.3	-2.0
16	23.5	-3.3	24.3	-1.1	24.2	-2.2	24.2	-2.1
18	23.3	-3.6	24.4	-1.0	24.4	-2.0	24.3	-2.0
20	23.4	-3.5	24.2	-1.3	24.3	-2.1	24.5	-1.9
22	23.6	-3.3	23.8	-1.6	24.3	-2.0	24.4	-2.0
24	23.8	-3.0	24.4	-1.0	24.7	-1.6	24.5	-1.8
26	24.0	-2.9	24.4	-1.1	25.0	-1.4	24.4	-1.9
28	24.1	-2.8	24.4	-1.0	25.0	-1.4	24.7	-1.6
30	24.1	-2.7	25.1	-0.3	25.1	-1.3	24.7	-1.6
32	24.3	-2.5	24.9	-0.5	25.0	-1.3	24.8	-1.6
34	24.5	-2.3	24.9	-0.5	24.9	-1.5	25.1	-1.2
36	24.5	-2.3	24.4	-1.0	25.0	-1.4	25.2	-1.1
38	24.5	-2.3	24.6	-0.8	25.0	-1.3	25.3	-1.1
40	24.6	-2.2	25.0	-0.4	25.1	-1.3	25.8	-0.5



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น สูตร P1-P4

จากตารางที่ 26 และรูปที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นแปะสูตรตำรับ P1-P4 เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาที่แผ่นแปะเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิที่ต่ำลงจนถึงอุณหภูมิต่ำสุด (onset) พบว่าสูตร P1 ใช้เวลาน้อยที่สุด รองลงมาเป็นสูตร P3, P4 และ P2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ พบว่า สูตรตำรับ P1 ให้อุณหภูมิในระดับที่ต่ำที่สุด รองลงมาเป็นสูตร P3, P4 และ P1 ตามลำดับ โดยสูตร P4 และ P3 สามารถปลดปล่อยอุณหภูมิออกมาในระดับที่ใกล้เคียงกัน และสูตร P2 ปลดปล่อยอุณหภูมิออกมาในระดับที่สูงสุด เมื่อพิจารณาระยะเวลา (duration) ที่แผ่นแปะสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิได้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (33 °C) พบว่าสูตรตำรับทั้ง 4 สูตรสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้ตลอดช่วงที่ทำการศึกษา คือ 40 นาที

จากการพิจารณาลักษณะทางกายภาพและลักษณะของการปลดปล่อยอุณหภูมิของทุก 4 สูตรตำรับ พบว่าสูตรตำรับที่เหมาะสมจะนำไปพัฒนาต่อไปก็คือสูตรตำรับ P4 เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม คงรูปเป็นแผ่นแปะได้มากที่สุด อีกทั้งผลการทดสอบในเรื่องของการปลดปล่อยอุณหภูมิกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ก็ให้ผลดีที่สุดทั้งเรื่องระดับอุณหภูมิที่ปลดปล่อย ระยะเวลาที่แผ่นแปะเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้สูงขึ้น (onset) และระยะเวลาในการควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (duration) แม้ว่าลักษณะของการปลดปล่อยอุณหภูมิเมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์จะไม่ใช่ระดับที่ดีที่สุด แต่ก็ไม่ได้ต่ำกว่าสูตรตำรับอื่นๆ มากนัก

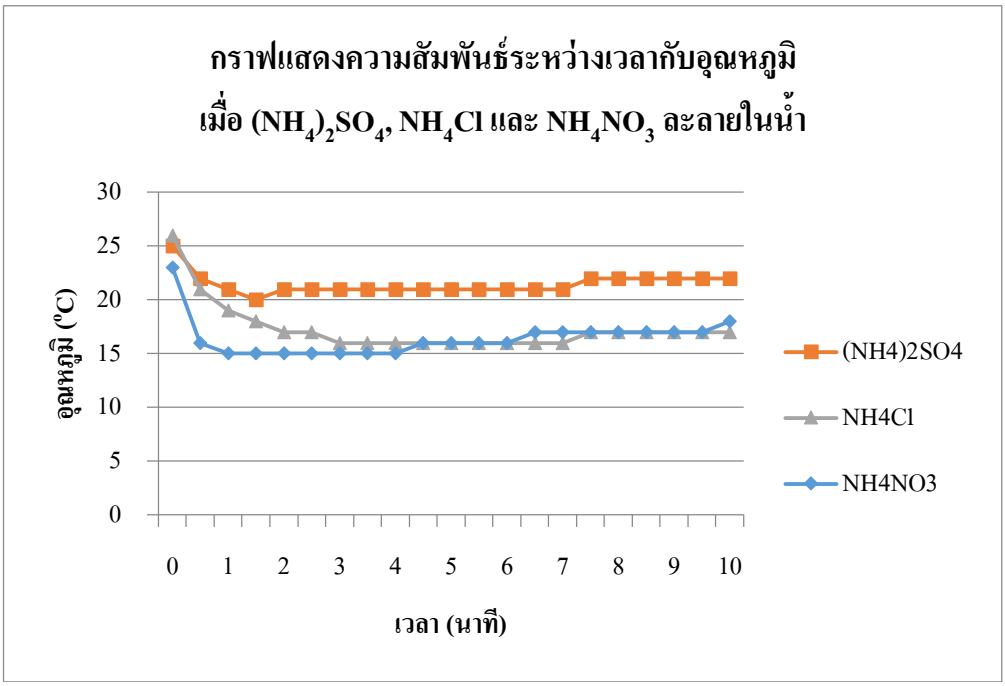
4.4 ผลการศึกษาการปรับเปลี่ยนชนิดของเกลือที่มีคุณสมบัติการดูดความร้อน (การทดลองขั้นที่ 6)

โดยเปรียบเทียบการละลายน้ำของเกลือจำนวน 3 ชนิดด้วยกัน คือ แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟตและ แอมโมเนียมไนเตรต ผลการทดลองดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 แสดงอุณหภูมิของแอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต ปริมาณ 4 กรัม เมื่อใส่ลงในน้ำปริมาณ 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาที

นาทีที่	$(NH_4)_2SO_4$ จำนวน 4 กรัม		NH_4Cl จำนวน 4 กรัม		NH_4NO_3 จำนวน 4 กรัม	
	อุณหภูมิ(°C)	ผลต่าง(°C)	อุณหภูมิ(°C)	ผลต่าง(°C)	อุณหภูมิ(°C)	ผลต่าง(°C)
0	25	0	26	0	23	0
0.5	22	3	21	3	16	7
1	21	4	19	5	15	8
1.5	20	5	18	6	15	8
2	21	4	17	7	15	8
2.5	21	4	17	7	15	8
3	21	4	16	8	15	8
3.5	21	4	16	8	15	8
4	21	4	16	8	15	8
4.5	21	4	16	8	16	7
5	21	4	16	8	16	7
5.5	21	4	16	8	16	7
6	21	4	16	8	16	7
6.5	21	4	16	8	17	6
7	21	4	16	8	17	6
7.5	22	3	17	7	17	6
8	22	3	17	7	17	6
8.5	22	3	17	7	17	6
9	22	3	17	7	17	6
9.5	22	3	17	7	17	6
10	22	3	17	7	18	5

คำอธิบายเพิ่มเติม	มีความสามารถในการละลายน้ำที่ดี แต่อุณหภูมิที่ได้ไม่ค่อยสูงเท่าไรนัก	ลอยอยู่บนผิวน้ำ เปียกน้ำยาก แล้วค่อยๆจมลงไปเมื่อเวลาผ่านไป แต่พอครบ 10 นาทีก็ยังมีบางส่วนลอยที่ผิวน้ำอยู่	ละลายน้ำได้ดี แต่เป็นไปได้ช้ากว่าแอมโมเนียมซัลเฟต เมื่อครบ 10 นาทีพบว่ายังมีสารบางส่วนละลายไม่หมด



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของการละลาย $(NH_4)_2SO_4$, NH_4Cl และ NH_4NO_3 ในน้ำ

จากตารางที่ 27 และรูปภาพที่ 15 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อนำแอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต มาละลายในน้ำ พบว่าแอมโมเนียมไนเตรตสามารถทำให้อุณหภูมิของน้ำลดลงมาได้ต่ำที่สุด และคงอุณหภูมิที่ต่ำสุดตลอดการศึกษา (10 นาที) โดยเกลือที่ให้อุณหภูมิที่ต่ำรองลงมาคือ แอมโมเนียมคลอไรด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต ตามลำดับ แต่แอมโมเนียมคลอไรด์ มีคุณสมบัติที่ไม่ค่อยเปียกน้ำ ดังนั้นเกลือที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ศึกษาต่อที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ คือ แอมโมเนียมไนเตรต

4.5 ผลการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละติน

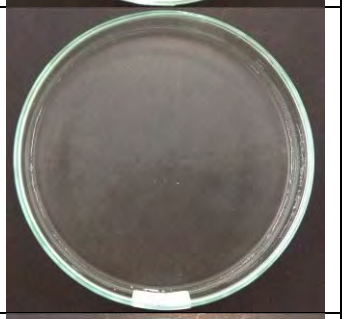
โดยศึกษาคุณสมบัติของสูตรตำรับไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละตินในอัตราส่วนต่างๆ ระหว่างไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสต่อเจละติน ได้แก่ 1:2, 1:1 และ 2:1 และปริมาณรวมของพอลิเมอร์ที่ร้อยละต่างๆ ของสูตรตำรับ ได้แก่ ร้อยละ 5, 10 และ 15 ของสูตรตำรับ (สูตรตำรับ T1- T9) สำหรับผลการศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพ ปริมาณน้ำในสูตรตำรับ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทดสอบกับแคลเซียมคลอไรด์และแอมโมเนียมไนเตรตเป็นดังต่อไปนี้

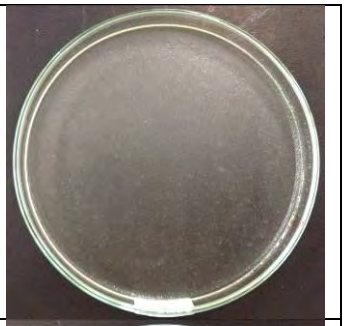
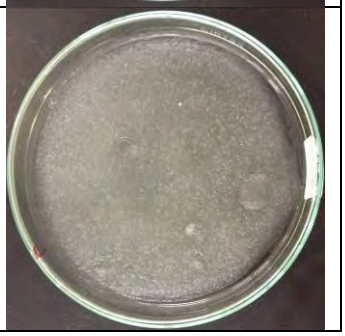
4.5.1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำของไฮโดรเจลและลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับ T1-T9

ตารางที่ 28 แสดงปริมาณน้ำของไฮโดรเจลในสูตรตำรับ T1-T9

สูตรตำรับ	ปริมาณน้ำในสูตรตำรับ				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
T1	90.09%	90.34%	96.50%	92.31%	0.029645
T2	92.68%	91.34%	92.45%	92.16%	0.005851
T3	90.16%	89.54%	90.07%	89.92%	0.002735
T4	91.82%	88.13%	84.91%	88.29%	0.028232
T5	84.47%	87.46%	88.39%	86.77%	0.016724
T6	84.68%	83.56%	83.17%	83.80%	0.006400
T7	83.17%	89.91%	74.11%	82.40%	0.064735
T8	79.45%	78.84%	79.32%	79.20%	0.002623
T9	78.42%	77.28%	78.30%	78.00%	0.005115

ตารางที่ 29 แสดงลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับ T1-T9

สูตรตำรับ	ลักษณะทางกายภาพ	รูปภาพ
T1	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง ผิวเรียบ ไม่คงรูป ผิวเปียกแฉะ ไม่ทนต่อแรงกด เหนอะหนะ	
T2	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง ผิวเรียบ ค่อนข้างคงรูปและเหนียวกว่าสูตร T1 เล็กน้อย ไม่ทนต่อแรงกด	
T3	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง ผิวเรียบ ค่อนข้างคงรูปและเหนียวกว่าสูตร T2 เล็กน้อย ทนต่อแรงกดได้เล็กน้อย	
T4	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง สีเหลืองอ่อนเล็กน้อย ผิวเรียบ มีความยืดหยุ่น คงรูปได้ ทนต่อแรงกดได้ดี ไม่เหนียวเหนอะหนะ	
T5	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง สีเหลืองอ่อนเล็กน้อย ผิวเรียบ มีความยืดหยุ่น แข็ง คงรูปได้ดี ทนต่อแรงกดได้ดี ผิวแห้งกว่า T4 เล็กน้อย	

T6	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง สีเหลืองอ่อนเล็กน้อย ผิวเรียบและค่อนข้างแห้ง มีความยืดหยุ่นกว่าสูตร T5 แต่คงรูปได้น้อยกว่า ทนต่อแรงกดได้ดี	
T7	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง สีเหลืองขุ่น ผิวเรียบ มีความแข็งและยืดหยุ่นสูง คงรูปและทนต่อแรงกดได้ดี ผิวมันวาว	
T8	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง สีเหลืองขุ่น ผิวเรียบ มีความแข็งและยืดหยุ่นสูง คงรูปและทนต่อแรงกดได้ดี ผิวมันด้านกว่า T7	
T9	ไฮโดรเจลมีลักษณะโปร่งแสง สีเหลืองขุ่น ผิวเรียบ มีความแข็งและยืดหยุ่นสูง คงรูปและทนต่อแรงกดได้ดี	

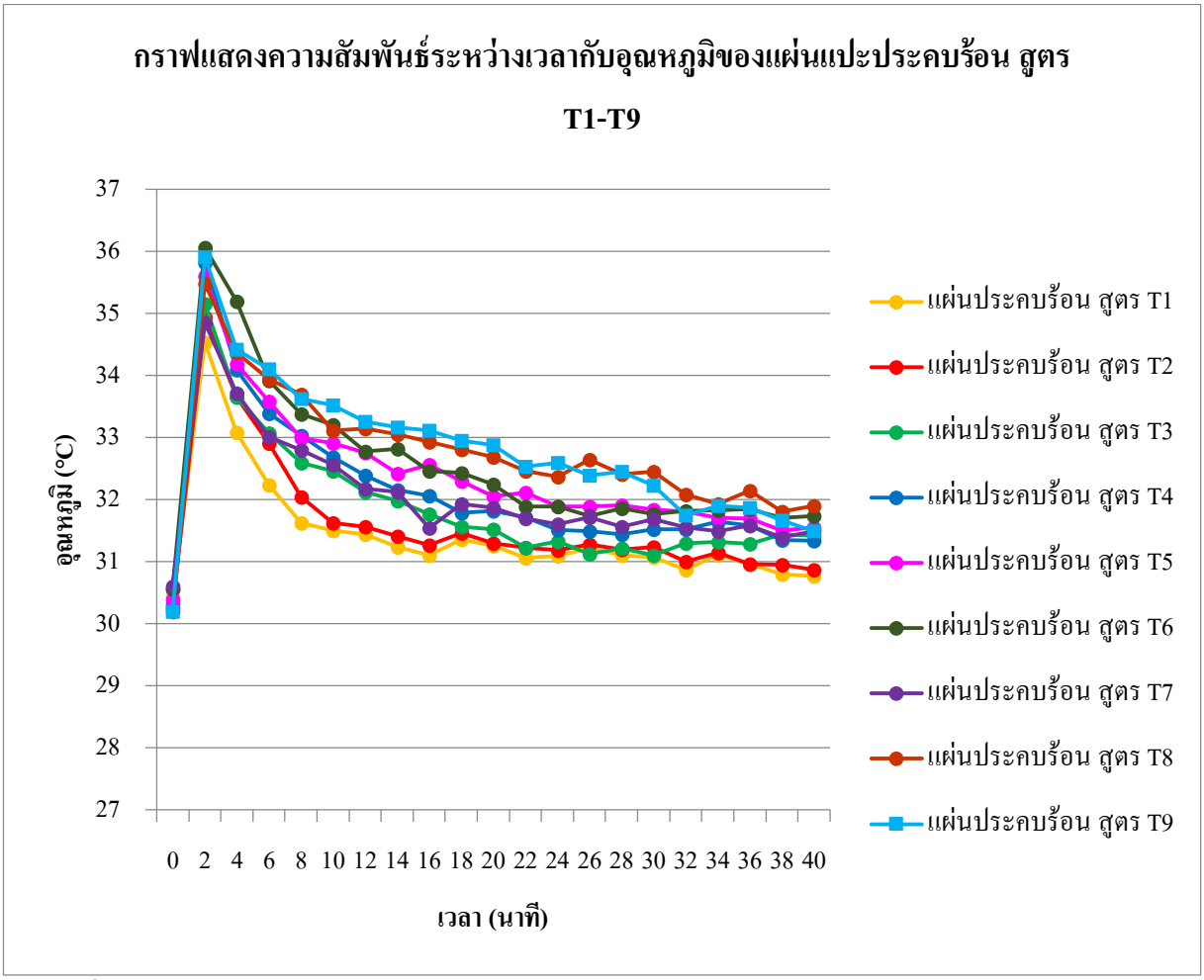
4.5.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์

ตารางที่ 30 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม

นาทีที่	สูตร T1 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T2 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T3 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T4 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T5 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T6 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T7 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T8 อุณหภูมิ (°C)	สูตร T9 อุณหภูมิ (°C)
0	30.4	30.3	30.6	30.3	30.4	30.6	30.6	30.2	30.2
2	34.5	34.9	35.2	35.8	35.6	36.1	34.8	35.5	35.9
4	33.1	33.7	33.7	34.1	34.2	35.2	33.7	34.4	34.4
6	32.2	32.9	33.1	33.4	33.6	33.9	33.0	33.9	34.1
8	31.6	32.0	32.6	33.0	33.0	33.4	32.8	33.7	33.6
10	31.5	31.6	32.5	32.7	32.9	33.2	32.6	33.1	33.5
12	31.4	31.6	32.1	32.4	32.8	32.8	32.2	33.1	33.3
14	31.2	31.4	32.0	32.2	32.4	32.8	32.1	33.1	33.2
16	31.1	31.3	31.8	32.1	32.6	32.5	32.2	32.9	33.1
18	31.4	31.5	31.6	31.8	32.3	32.4	31.9	32.8	32.9
20	31.3	31.3	31.5	31.8	32.1	32.2	31.9	32.7	32.9
22	31.1	31.2	31.2	31.7	32.1	31.9	31.7	32.5	32.5
24	31.1	31.2	31.3	31.5	31.9	31.9	31.6	32.4	32.6
26	31.2	31.3	31.1	31.5	31.9	31.7	31.7	32.6	32.4
28	31.1	31.2	31.2	31.4	31.9	31.9	31.6	32.4	32.5
30	31.1	31.2	31.1	31.5	31.8	31.8	31.7	32.4	32.2
32	30.9	31.0	31.3	31.5	31.8	31.8	31.6	32.1	31.7
34	31.1	31.1	31.3	31.6	31.7	31.8	31.5	31.9	31.9
36	31.0	31.0	31.3	31.6	31.7	31.8	31.6	32.1	31.9
38	30.8	30.9	31.4	31.4	31.5	31.7	31.4	31.8	31.7
40	30.8	30.9	31.4	31.3	31.6	31.7	31.5	31.9	31.5

ตารางที่ 31 แสดงผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม

นาทีที่	สูตร T1	สูตร T2	สูตร T3	สูตร T4	สูตร T5	สูตร T6	สูตร T7	สูตร T8	สูตร T9
	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
2	4.1	4.7	4.6	5.5	5.2	5.5	4.2	5.3	5.7
4	2.7	3.4	3.1	3.8	3.8	4.6	3.1	4.2	4.2
6	1.8	2.7	2.5	3.1	3.2	3.4	2.4	3.7	3.9
8	1.2	1.8	2.0	2.7	2.6	2.8	2.2	3.5	3.4
10	1.1	1.4	1.9	2.4	2.5	2.6	2.0	2.9	3.3
12	1.0	1.3	1.6	2.1	2.4	2.2	1.6	2.9	3.1
14	0.8	1.1	1.4	1.8	2.0	2.3	1.5	2.9	3.0
16	0.7	1.0	1.2	1.7	2.2	1.9	1.6	2.7	2.9
18	0.9	1.2	1.0	1.5	1.9	1.9	1.3	2.6	2.7
20	0.8	1.0	1.0	1.5	1.7	1.7	1.3	2.5	2.7
22	0.6	1.0	0.7	1.4	1.7	1.3	1.1	2.3	2.3
24	0.7	0.9	0.8	1.2	1.5	1.3	1.0	2.2	2.4
26	0.8	1.0	0.6	1.2	1.5	1.2	1.1	2.4	2.2
28	0.7	0.9	0.7	1.1	1.5	1.3	1.0	2.2	2.3
30	0.6	1.0	0.6	1.2	1.5	1.2	1.1	2.2	2.0
32	0.4	0.7	0.7	1.2	1.4	1.2	0.9	1.9	1.5
34	0.7	0.9	0.8	1.3	1.3	1.3	0.9	1.7	1.7
36	0.5	0.7	0.7	1.3	1.3	1.3	1.0	1.9	1.7
38	0.4	0.7	0.9	1.0	1.1	1.1	0.8	1.6	1.5
40	0.3	0.6	0.9	1.0	1.2	1.2	0.9	1.7	1.3



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน สูตรT1-T9

จากตารางที่ 30, 31 และรูปที่ 16 เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาที่แผ่นแปะเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิที่ต่ำลง (onset) พบว่าสูตร T1-T9 ใช้เวลาที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 2 นาที เมื่อพิจารณาถึงระดับอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ พบว่า สูตรตำรับ T9 ให้ผลที่สูงที่สุด รองลงมาเป็นสูตร T4 ซึ่งเท่ากับ T6, T8, T5, T2, T3, T7 และ T1 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระยะเวลา (duration) ที่แผ่นแปะสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิได้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (33 °C) พบว่าสูตร T9 อยู่ได้นานที่สุด รองลงมา คือ T8, T6, T4 เท่ากับ T5, T3 เท่ากับ T7, T1 เท่ากับ T2 ตามลำดับ (T9 > T8 > T6 > T4=T5 > T3=T7 > T1=T2)

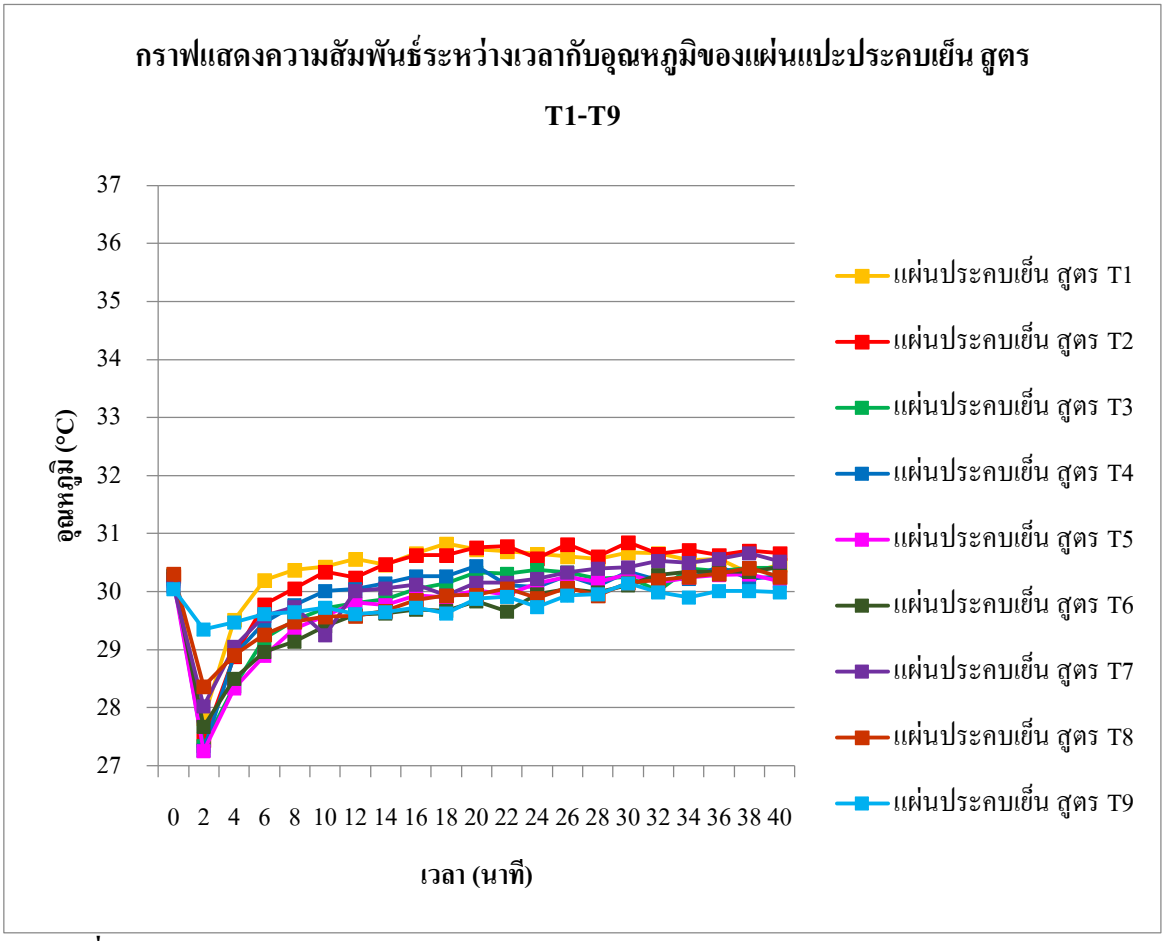
4.5.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต

ตารางที่ 32 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต 3 กรัม

นาทีที่	สูตร T1	สูตร T2	สูตร T3	สูตร T4	สูตร T5	สูตร T6	สูตร T7	สูตร T8	สูตร T9
	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)
0	30.3	30.3	30.3	30.3	30.1	30.2	30.1	30.3	30.0
2	27.8	27.4	27.3	27.3	27.3	27.7	28.0	28.4	29.4
4	29.5	28.9	28.4	28.9	28.3	28.5	29.1	28.9	29.5
6	30.2	29.8	29.2	29.5	28.9	29.0	29.6	29.3	29.6
8	30.4	30.1	29.5	29.8	29.4	29.1	29.7	29.5	29.6
10	30.4	30.3	29.7	30.0	29.6	29.4	29.9	29.6	29.7
12	30.6	30.2	29.8	30.0	29.8	29.6	30.0	29.6	29.6
14	30.5	30.5	29.9	30.1	29.8	29.6	30.1	29.7	29.7
16	30.7	30.6	30.0	30.3	29.9	29.7	30.1	29.9	29.7
18	30.8	30.6	30.1	30.3	29.9	29.7	29.9	29.9	29.6
20	30.7	30.8	30.3	30.4	30.0	29.8	30.2	29.9	29.9
22	30.7	30.8	30.3	30.1	29.9	29.7	30.2	30.1	29.9
24	30.6	30.6	30.4	30.1	30.1	30.0	30.2	29.9	29.7
26	30.6	30.8	30.3	30.3	30.3	30.0	30.3	30.1	29.9
28	30.6	30.6	30.2	30.1	30.2	30.0	30.4	29.9	30.0
30	30.7	30.8	30.3	30.3	30.3	30.1	30.4	30.2	30.1
32	30.7	30.7	30.0	30.2	30.2	30.3	30.5	30.2	30.0
34	30.5	30.7	30.4	30.2	30.2	30.3	30.5	30.3	29.9
36	30.6	30.6	30.4	30.4	30.3	30.3	30.6	30.3	30.0
38	30.3	30.7	30.4	30.2	30.3	30.3	30.7	30.4	30.0
40	30.5	30.7	30.4	30.3	30.2	30.4	30.5	30.3	30.0

ตารางที่ 33 แสดงผลต่างของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลาต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ 3 กรัม

นาทีที่	สูตร T1	สูตร T2	สูตร T3	สูตร T4	สูตร T5	สูตร T6	สูตร T7	สูตร T8	สูตร T9
	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
2	-2.5	-2.8	-2.9	-3.0	-2.9	-2.5	-2.1	-1.9	-0.7
4	-0.8	-1.4	-1.9	-1.4	-1.8	-1.7	-1.0	-1.4	-0.6
6	-0.1	-0.5	-1.1	-0.8	-1.2	-1.3	-0.5	-1.0	-0.4
8	0.1	-0.2	-0.8	-0.5	-0.8	-1.1	-0.4	-0.8	-0.4
10	0.1	0.1	-0.6	-0.2	-0.5	-0.8	-0.2	-0.7	-0.3
12	0.3	0.0	-0.5	-0.2	-0.3	-0.6	-0.1	-0.7	-0.4
14	0.2	0.2	-0.4	-0.1	-0.4	-0.6	0.0	-0.6	-0.4
16	0.4	0.4	-0.2	0.0	-0.2	-0.5	0.0	-0.5	-0.3
18	0.5	0.4	-0.1	0.0	-0.2	-0.6	-0.1	-0.4	-0.4
20	0.4	0.5	0.1	0.2	-0.1	-0.4	0.1	-0.4	-0.2
22	0.4	0.5	0.0	-0.1	-0.2	-0.6	0.1	-0.2	-0.1
24	0.4	0.3	0.1	-0.2	0.0	-0.3	0.1	-0.4	-0.3
26	0.3	0.5	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.2	-0.2	-0.1
28	0.3	0.3	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	0.3	-0.4	-0.1
30	0.4	0.6	0.0	0.1	0.2	-0.1	0.3	-0.2	0.1
32	0.4	0.4	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.4	-0.1	-0.1
34	0.3	0.4	0.1	0.0	0.1	0.1	0.4	0.0	-0.1
36	0.3	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	0.5	0.0	0.0
38	0.0	0.4	0.1	0.0	0.2	0.1	0.6	0.1	0.0
40	0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	-0.1



รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น สูตร T1-T9

จากตารางที่ 32, 33 และ รูปที่ 17 เมื่อพิจารณาจากระยะเวลาที่แผ่นแปะเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิที่ต่ำลง (onset) พบว่าสูตร T1-T9 ใช้เวลาที่ใกล้เคียงกัน คือประมาณ 2 นาที เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ พบว่า สูตรตำรับ T4 ได้ผลดีที่สุด รองลงมาเป็นสูตร T3เท่ากับ T5, T2, T1 เท่ากับ T6, T7, T8, T9 ตามลำดับ (T4 > T3=T5 > T2 > T1=T6 >T7 > T8 > T9) เมื่อพิจารณาระยะเวลา (duration) ที่แผ่นแปะสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิได้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (33 °C) พบว่าสูตรไฮโดรเจลทั้งหมดสามารถคงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังไว้ได้ตลอดการศึกษา และสูตรตำรับที่ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นไว้ได้นานที่สุด คือ สูตรT9 รองลงมา คือ T8, T6, T5, T3 เท่ากับ T7, T4, T2, T1 ตามลำดับ (T9 > T8 > T6 > T5 > T3=T7 > T4 > T2 > T1)

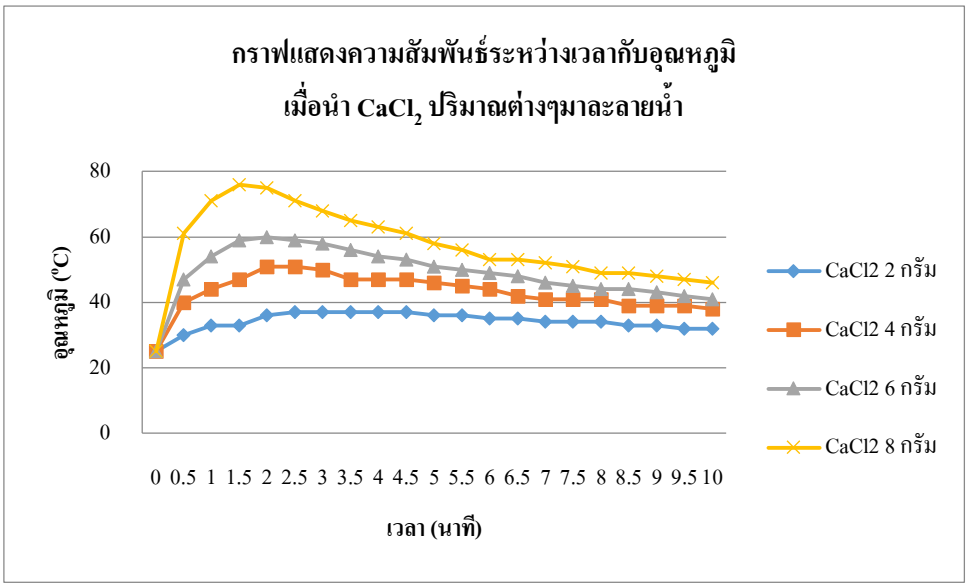
เมื่อพิจารณาสูตรตำรับ T1-T9 เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์และถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต ประกอบกับลักษณะทางการภาพของทั้งเก้าสูตรตำรับ พบว่าสูตรตำรับ T6 มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการศึกษาต่อไป

4.6 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเกลือที่สามารถเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนและดูดความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (การทดลองขั้นที่ 8.1)

ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิของสารแคลเซียมคลอไรด์และแอมโมเนียมไนเตรตในปริมาณต่างๆ เมื่อละลายในน้ำปริมาณ 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 10 นาทีโดยไม่มีการคนผสม

ตารางที่ 34 แสดงอุณหภูมิของแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณต่างๆ เมื่อละลายในน้ำปริมาณ 10 มิลลิลิตร

นาทีที่	$CaCl_2$ 2 กรัม		$CaCl_2$ 4 กรัม		$CaCl_2$ 6 กรัม		$CaCl_2$ 8 กรัม	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
0	25	0	25	0	25	0	25	0
0.5	30	5	40	15	47	22	61	36
1	33	8	44	19	54	29	71	46
1.5	33	8	47	22	59	34	76	51
2	36	11	51	26	60	35	75	50
2.5	37	12	51	26	59	34	71	46
3	37	12	50	25	58	33	68	43
3.5	37	12	47	22	56	31	65	40
4	37	12	47	22	54	29	63	38
4.5	37	12	47	22	53	28	61	36
5	36	11	46	21	51	26	58	33
5.5	36	11	45	20	50	25	56	31
6	35	10	44	19	49	24	53	28
6.5	35	10	42	17	48	23	53	28
7	34	9	41	16	46	21	52	27
7.5	34	9	41	16	45	20	51	26
8	34	9	41	16	44	19	49	24
8.5	33	8	39	14	44	19	49	24
9	33	8	39	14	43	18	48	23
9.5	32	7	39	14	42	17	47	22
10	32	7	38	13	41	16	46	21



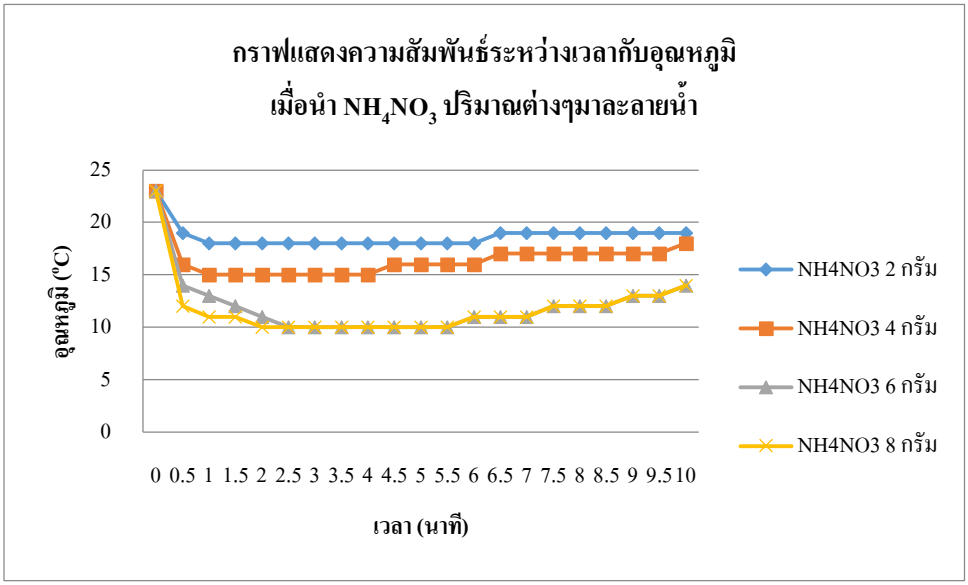
รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของการละลาย $CaCl_2$ ปริมาณต่างๆ ในน้ำ

จากตารางที่ 34 เมื่อนำเกลือแคลเซียมคลอไรด์ละลายในน้ำที่ปริมาณต่างๆ แล้วพิจารณาระดับอุณหภูมิที่ปลดปล่อย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์ในปริมาณที่สูงขึ้น อุณหภูมิที่ปลดปล่อยออกมาก็สูงขึ้นด้วย โดยปริมาณเกลือที่มากกว่าจะคงระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าปริมาณเกลือที่น้อยกว่าตลอดช่วงการศึกษา

ตารางที่ 35 แสดงอุณหภูมิของแอมโมเนียมไนเตรต ปริมาณต่างๆ เมื่อใส่ลงในน้ำปริมาณ 10 มิลลิลิตร

นาทีที่	NH_4NO_3 2 กรัม		NH_4NO_3 4 กรัม		NH_4NO_3 6 กรัม		NH_4NO_3 8 กรัม	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
0	23	0	23	0	23	0	23	0
0.5	19	-4	16	-7	14	-9	12	-11
1	18	-5	15	-8	13	-10	11	-12
1.5	18	-5	15	-8	12	-11	11	-12
2	18	-5	15	-8	11	-12	10	-13
2.5	18	-5	15	-8	10	-13	10	-13
3	18	-5	15	-8	10	-13	10	-13
3.5	18	-5	15	-8	10	-13	10	-13
4	18	-5	15	-8	10	-13	10	-13

4.5	18	-5	16	-7	10	-13	10	-13
5	18	-5	16	-7	10	-13	10	-13
5.5	18	-5	16	-7	10	-13	10	-13
6	18	-5	16	-7	11	-12	11	-12
6.5	19	-4	17	-6	11	-12	11	-12
7	19	-4	17	-6	11	-12	11	-12
7.5	19	-4	17	-6	12	-11	12	-11
8	19	-4	17	-6	12	-11	12	-11
8.5	19	-4	17	-6	12	-11	12	-11
9	19	-4	17	-6	13	-10	13	-10
9.5	19	-4	17	-6	13	-10	13	-10
10	19	-4	18	-5	14	-9	14	-9



รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิของการละลาย NH_4NO_3 ปริมาณต่างๆ ในน้ำ

จากตารางที่ 35 เมื่อนำเกลือแอมโมเนียมไนเตรตละลายในน้ำที่ปริมาณต่างๆ แล้วพิจารณาอุณหภูมิที่ปลดปล่อย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือแอมโมเนียมไนเตรตให้ปริมาณเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ออกมาก็ยิ่งลดต่ำลง โดยปริมาณเกลือที่มากกว่ายังคงรักษาอุณหภูมิที่ต่ำกว่าปริมาณเกลือในที่น้อยกว่าตลอดช่วงการศึกษา

4.7 ผลการศึกษาผลของปริมาณเกลือที่มีคุณสมบัติในการคายความร้อน และดูดความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยนำมาทดสอบกับแผ่นแปะไฮโดรเจล (การทดลองขั้นที่ 8.2)

4.7.1 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตร T6 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณต่างๆ ดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T6 ขนาด 5.5 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์

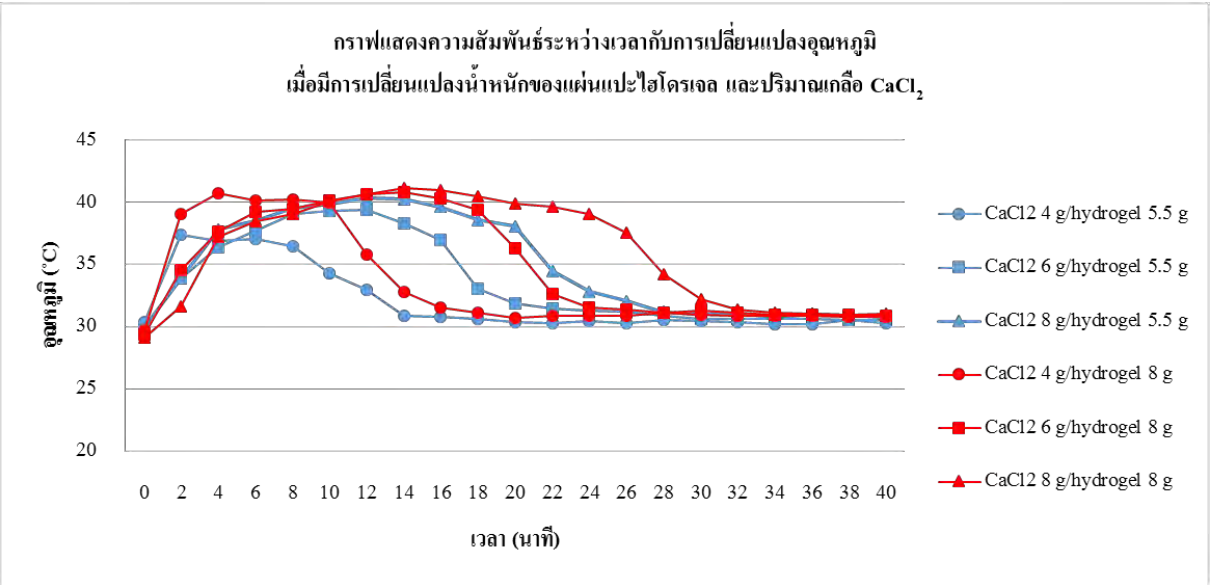
นาทีที่	แผ่นแปะขนาด 5.5 กรัม/แผ่น					
	$CaCl_2$ 4 กรัม		$CaCl_2$ 6 กรัม		$CaCl_2$ 8 กรัม	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
0	30.4	-	30.0	-	29.9	-
2	37.4	7.0	33.9	3.9	33.9	4.0
4	36.9	6.5	36.4	6.4	37.8	7.9
6	37.0	6.7	37.8	7.8	38.6	8.6
8	36.5	6.1	39.1	9.1	39.5	9.6
10	34.3	3.9	39.3	9.4	39.8	9.9
12	33.0	2.6	39.4	9.4	40.3	10.4
14	30.9	0.5	38.3	8.3	40.3	10.4
16	30.8	0.4	37.0	7.0	39.6	9.7
18	30.6	0.2	33.1	3.1	38.6	8.7
20	30.4	0.0	31.9	1.9	38.1	8.2
22	30.3	-0.1	31.5	1.5	34.5	4.6
24	30.5	0.1	31.3	1.3	32.8	2.9
26	30.3	-0.1	31.2	1.2	32.1	2.2
28	30.6	0.2	30.9	0.9	31.2	1.3
30	30.4	0.1	30.7	0.7	31.0	1.1
32	30.4	0.0	30.6	0.7	31.1	1.2
34	30.2	-0.1	30.7	0.7	30.8	0.9

36	30.2	-0.2	30.6	0.6	31.0	1.1
38	30.5	0.1	30.6	0.6	30.9	1.0
40	30.3	-0.1	30.5	0.6	30.8	0.9

ตารางที่ 37 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตรตำรับ T6 ขนาด 8 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแคลเซียมคลอไรด์

นาทีที่	แผ่นแปะขนาด 8 กรัม/แผ่น					
	$CaCl_2$ 4 กรัม		$CaCl_2$ 6 กรัม		$CaCl_2$ 8 กรัม	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)
0	29.7	-	29.4	-	29.1	-
2	39.1	9.4	34.6	5.2	31.7	2.5
4	40.8	11.1	37.7	8.3	37.2	8.1
6	40.2	10.5	39.2	9.8	38.5	9.4
8	40.2	10.6	39.5	10.1	39.1	10.0
10	40.0	10.3	40.2	10.8	40.1	11.0
12	35.8	6.1	40.7	11.3	40.7	11.6
14	32.8	3.1	40.9	11.5	41.2	12.1
16	31.6	1.9	40.3	10.9	41.0	11.9
18	31.1	1.4	39.4	10.0	40.5	11.4
20	30.8	1.1	36.3	6.9	39.9	10.8
22	30.9	1.2	32.6	3.2	39.7	10.5
24	30.9	1.2	31.5	2.2	39.1	9.9
26	30.9	1.2	31.3	2.0	37.6	8.4
28	31.1	1.4	31.1	1.7	34.3	5.1
30	31.0	1.3	31.3	1.9	32.2	3.1
32	30.9	1.2	31.1	1.7	31.4	2.3
34	30.9	1.2	30.9	1.5	31.2	2.0
36	30.9	1.2	31.0	1.6	31.0	1.9

38	30.8	1.1	31.0	1.6	31.0	1.8
40	30.8	1.1	30.9	1.5	31.0	1.9



รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแผ่นแป๊ะไฮโดรเจลและปริมาณเกลือ $CaCl_2$

จากตารางที่ 36, 37 และรูปที่ 20 เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิที่ปลดปล่อย พบว่าปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์ในปริมาณที่มากกว่า จะให้ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า และคงระยะเวลา (duration) ในการปลดปล่อยอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (33 °C) ได้ยาวนานกว่าปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่น้อยกว่า

นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจลจาก 5.5 มิลลิกรัมต่อแผ่นเป็น 8 มิลลิกรัมต่อแผ่น พบว่าการปลดปล่อยอุณหภูมิเป็นไปในแนวทางเดียวกัน แต่อุณหภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะสูงกว่าปริมาณไฮโดรเจล 5.5 มิลลิกรัมต่อแผ่นและระยะเวลา (duration) ในการปลดปล่อยอุณหภูมิก็ยาวนานขึ้น

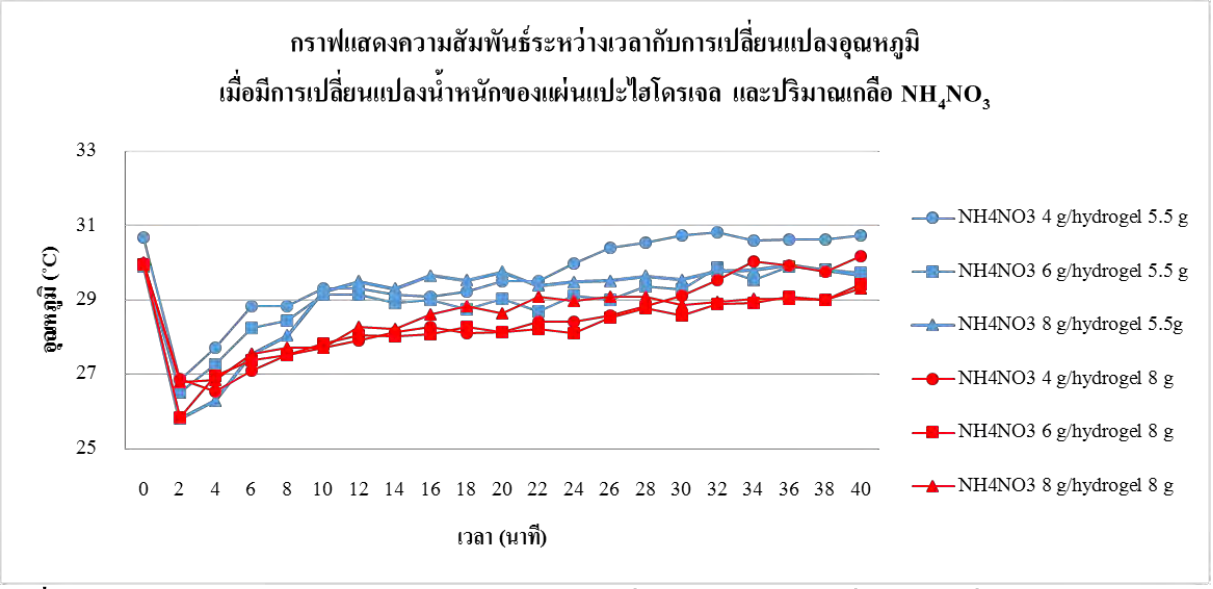
4.7.2 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลสูตร T6 เมื่อทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรตปริมาณต่างๆ เป็นไปตามตารางที่ 38

ตารางที่ 38 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะสูตรตำรับ T6 ขนาด 20 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต

นาทีที่	แผ่นแปะขนาด 20 กรัม/แผ่น					
	NH_4NO_3 4 กรัม		NH_4NO_3 6 กรัม		NH_4NO_3 8 กรัม	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ(°C)
0	30.7	-	30.0	-	29.9	-
2	26.8	-3.9	26.5	-3.4	25.8	-4.1
4	27.7	-3.0	27.3	-2.7	26.3	-3.6
6	28.8	-1.9	28.3	-1.7	27.5	-2.4
8	28.8	-1.9	28.4	-1.5	28.1	-1.8
10	29.3	-1.4	29.1	-0.8	29.2	-0.7
12	29.3	-1.4	29.2	-0.8	29.5	-0.4
14	29.2	-1.5	28.9	-1.0	29.3	-0.6
16	29.1	-1.6	29.0	-0.9	29.7	-0.2
18	29.2	-1.5	28.8	-1.2	29.5	-0.4
20	29.5	-1.2	29.0	-0.9	29.8	-0.1
22	29.5	-1.2	28.7	-1.3	29.4	-0.5
24	30.0	-0.7	29.1	-0.8	29.5	-0.4
26	30.4	-0.3	29.0	-0.9	29.5	-0.4
28	30.6	-0.1	29.4	-0.6	29.6	-0.3
30	30.7	0.0	29.3	-0.7	29.5	-0.4
32	30.8	0.1	29.9	-0.1	29.8	-0.1
34	30.6	-0.1	29.6	-0.4	29.8	-0.1
36	30.6	-0.1	29.9	0.0	29.9	0.0
38	30.6	-0.1	29.8	-0.1	29.8	-0.1
40	30.7	0.0	29.7	-0.2	29.7	-0.2

ตารางที่ 39 แสดงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะสูตรตำรับ T6 ขนาด 30 กรัม/แผ่น เมื่อทำการทดสอบกับถุงเกลือแอมโมเนียมไนเตรต

นาทีที่	แผ่นแปะขนาด 30 กรัม/แผ่น					
	NH_4NO_3 4 กรัม		NH_4NO_3 6 กรัม		NH_4NO_3 8 กรัม	
	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ(°C)	อุณหภูมิ (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ(°C)
0	30.0	-	30.0	-	30.0	-
2	26.9	-3.1	25.9	-4.1	26.8	-3.2
4	26.5	-3.4	27.0	-3.0	26.8	-3.2
6	27.1	-2.9	27.4	-2.6	27.6	-2.5
8	27.5	-2.5	27.5	-2.4	27.7	-2.3
10	27.7	-2.3	27.8	-2.1	27.7	-2.3
12	27.9	-2.1	28.1	-1.9	28.3	-1.7
14	28.1	-1.8	28.0	-1.9	28.2	-1.8
16	28.3	-1.7	28.1	-1.9	28.6	-1.4
18	28.1	-1.9	28.3	-1.7	28.8	-1.2
20	28.1	-1.9	28.1	-1.8	28.6	-1.4
22	28.4	-1.6	28.2	-1.7	29.1	-0.9
24	28.4	-1.6	28.1	-1.8	29.0	-1.0
26	28.6	-1.4	28.5	-1.4	29.1	-0.9
28	28.8	-1.1	28.8	-1.2	29.1	-0.9
30	29.1	-0.9	28.6	-1.4	28.9	-1.1
32	29.5	-0.4	28.9	-1.1	29.0	-1.0
34	30.0	0.1	28.9	-1.1	29.0	-1.0
36	29.9	0.0	29.1	-0.9	29.0	-1.0
38	29.8	-0.2	29.0	-1.0	29.0	-1.0
40	30.2	0.2	29.4	-0.5	29.3	-0.7



รูปที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของแผ่นแปะไฮโดรเจลและปริมาณเกลือ NH_4NO_3

จากตารางที่ 38, 39 และรูปที่ 21 เมื่อพิจารณาระดับอุณหภูมิที่ปลดปล่อย พบว่าปริมาณเกลือแอมโมเนียมไนเตรตในปริมาณที่มากกว่าจะให้ระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า และคงระยะเวลา (duration) ในการปลดปล่อยอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (33 °C) ได้ยาวนานกว่าปริมาณเกลือแอมโมเนียมไนเตรตที่น้อยกว่า

นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจลจาก 5.5 มิลลิกรัมต่อแผ่น เป็น 8 มิลลิกรัมต่อแผ่น พบว่าลักษณะการปลดปล่อยอุณหภูมิเป็นไปในแนวทางเดียวกัน แต่ระดับอุณหภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะต่ำกว่าปริมาณไฮโดรเจล 5.5 มิลลิกรัมต่อแผ่น และระยะเวลาก็ยาวนานกว่า

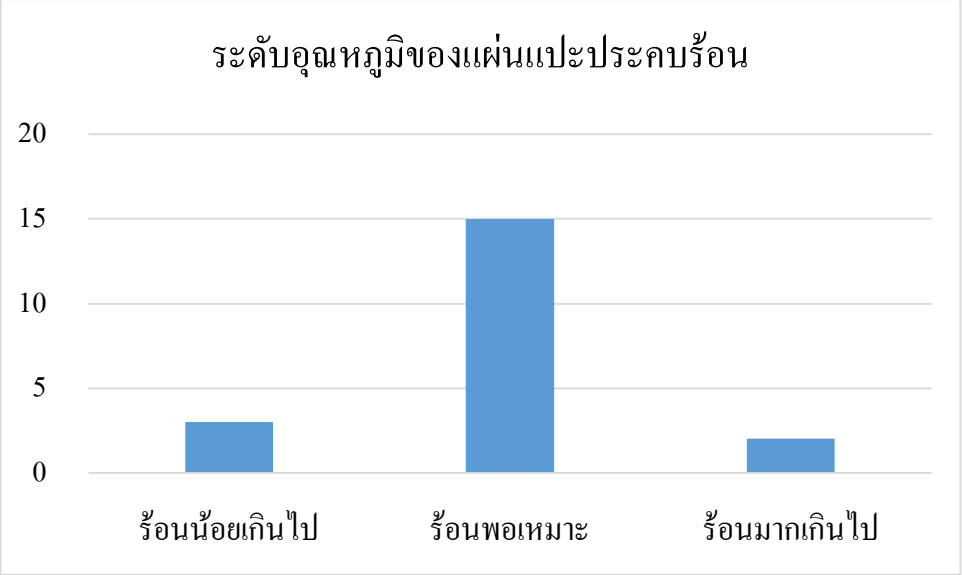
จากผลการทดสอบข้างต้นปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสม ก็คือ 8 มิลลิกรัมต่อแผ่น

ส่วนปริมาณเกลือแอมโมเนียมไนเตรตที่เหมาะสมก็คือ 8 มิลลิกรัม เช่นเดียวกัน และจากการปรับเปลี่ยนปริมาณแผ่นแปะจาก 5.5 มิลลิกรัมต่อแผ่น เป็น 8 มิลลิกรัมต่อแผ่น พบว่า แผ่นแปะปริมาณ 8 มิลลิกรัมต่อแผ่น มีความเหมาะสมมากกว่า

4.8 ผลการประเมินความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น

จำนวนผู้ทำการประเมิน 20 คน

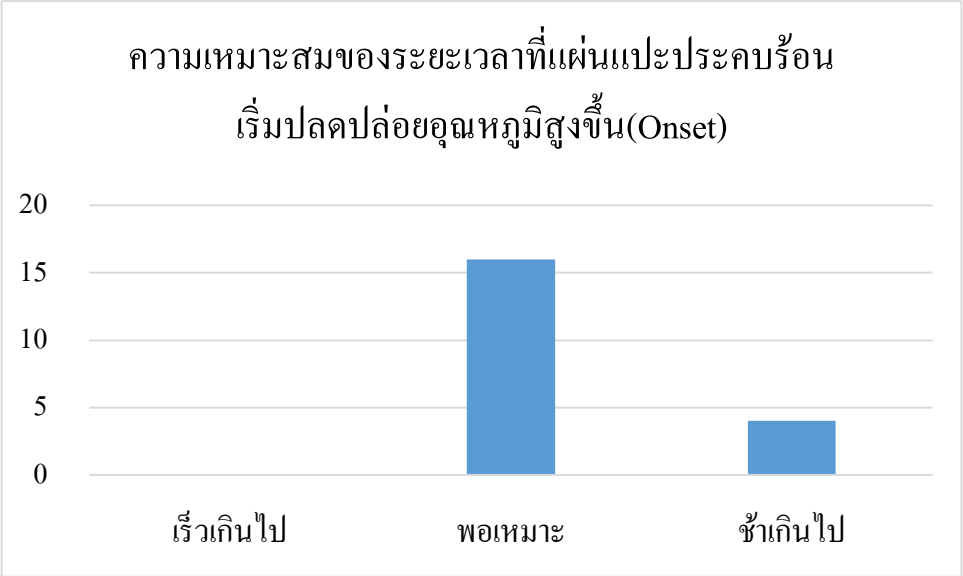
1. อายุ : 22 ปี 4 คน
   23 ปี 13 คน
   24 ปี 3 คน
   เพศ : ชาย 10 คน
   หญิง 10 คน
2. แผ่นแปะประคบร้อน
   2.1 ระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน
   ร้อนน้อยเกินไป (1 คะแนน) 3 คน
   ร้อนพอเหมาะ (2 คะแนน) 15 คน
   ร้อนมากเกินไป (3 คะแนน) 2 คน



รูปที่ 22 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน

2.2 ความเหมาะสมของระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบร้อนเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิสูงขึ้น(Onset)

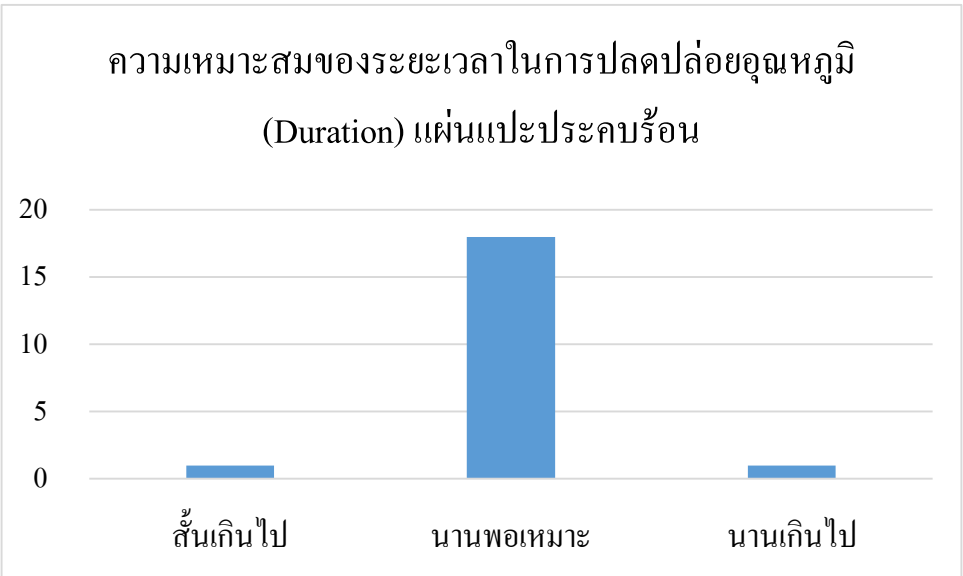
เร็วเกินไป (1 คะแนน) 0 คน
พอเหมาะ (2 คะแนน) 16 คน
ช้าเกินไป (3 คะแนน) 4 คน



รูปที่ 23 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบร้อนเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิสูงขึ้น

2.3 ความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิ(Duration) แผ่นแปะประคบร้อน

สั้นเกินไป (1 คะแนน)	1	คน
นานพอเหมาะ (2 คะแนน)	18	คน
นานเกินไป (3 คะแนน)	1	คน

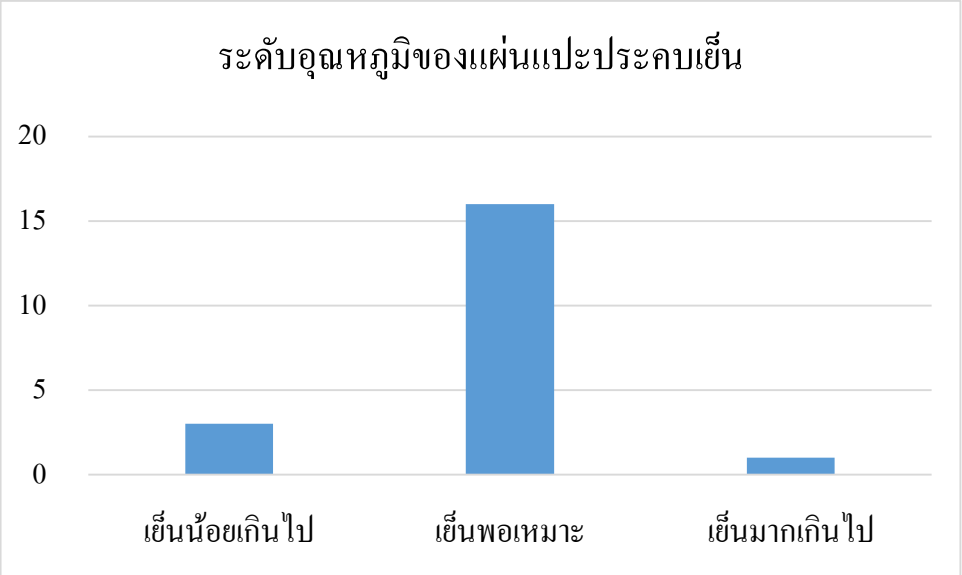


รูปที่ 24 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน

3. แผ่นแปะประคบเย็น

3.1 ระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น

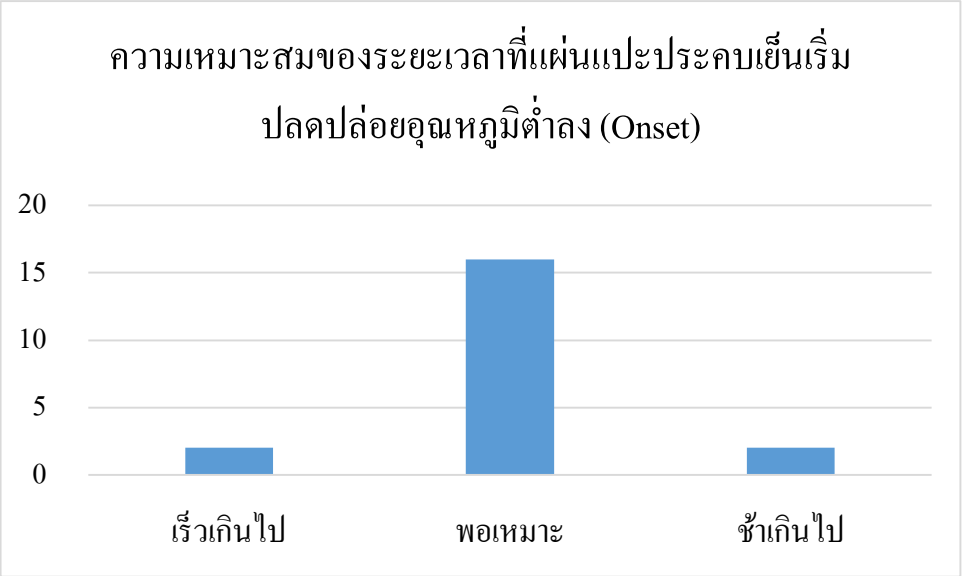
เย็นน้อยเกินไป (1 คะแนน)	3	คน
เย็นพอเหมาะ (2 คะแนน)	16	คน
เย็นมากเกินไป (3 คะแนน)	1	คน



รูปที่ 25 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น

3.2 ความเหมาะสมของระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบเย็นเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิสูงขึ้น(Onset)

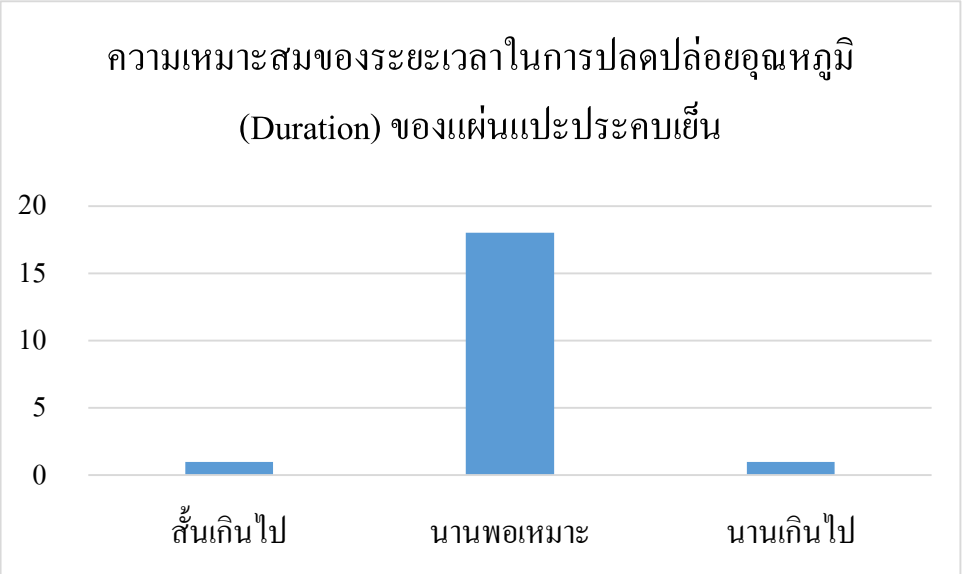
เร็วเกินไป (1 คะแนน)	2	คน
พอเหมาะ (2 คะแนน)	16	คน
ช้าเกินไป (3 คะแนน)	2	คน



รูปที่ 26 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบเย็นเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิต่ำลง

3.3 ความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิ(Duration) แผ่นแปะประคบเย็น

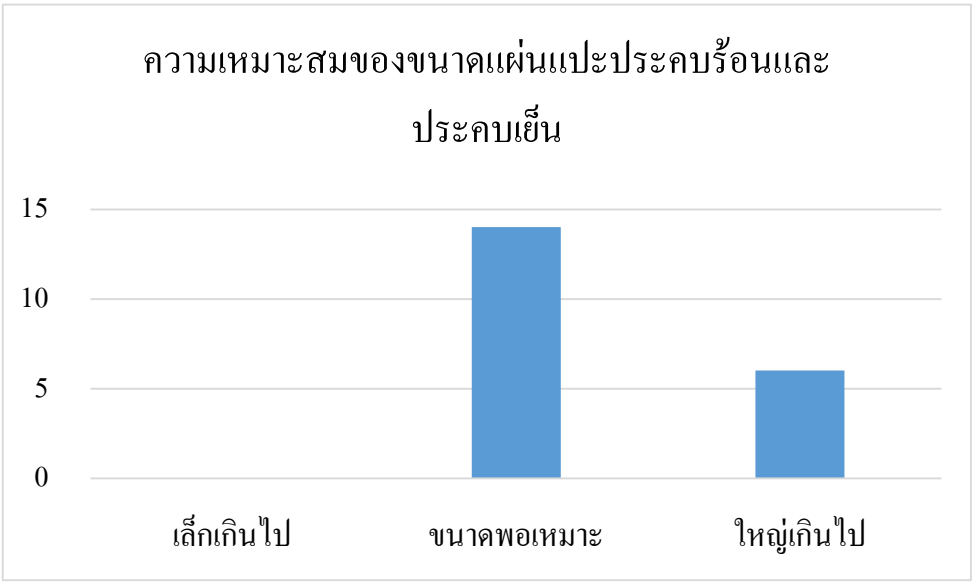
สั้นเกินไป (1 คะแนน)	1	คน
นานพอเหมาะ (2 คะแนน)	18	คน
นานเกินไป (3 คะแนน)	1	คน



รูปที่ 27 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น

4. ความเหมาะสมของขนาดแผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น

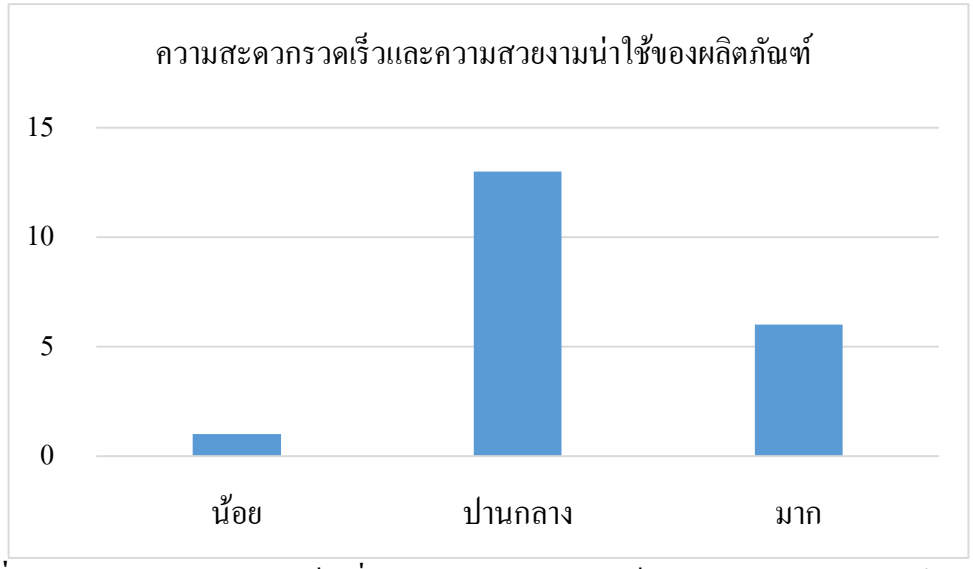
เล็กเกินไป (1 คะแนน)	0	คน
ขนาดพอเหมาะ (2 คะแนน)	14	คน
ใหญ่เกินไป (3 คะแนน)	6	คน



รูปที่ 28 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความเหมาะสมของขนาดแผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น

5 ความสะดวกรวดเร็วและความสวยงามน่าใช้ของผลิตภัณฑ์

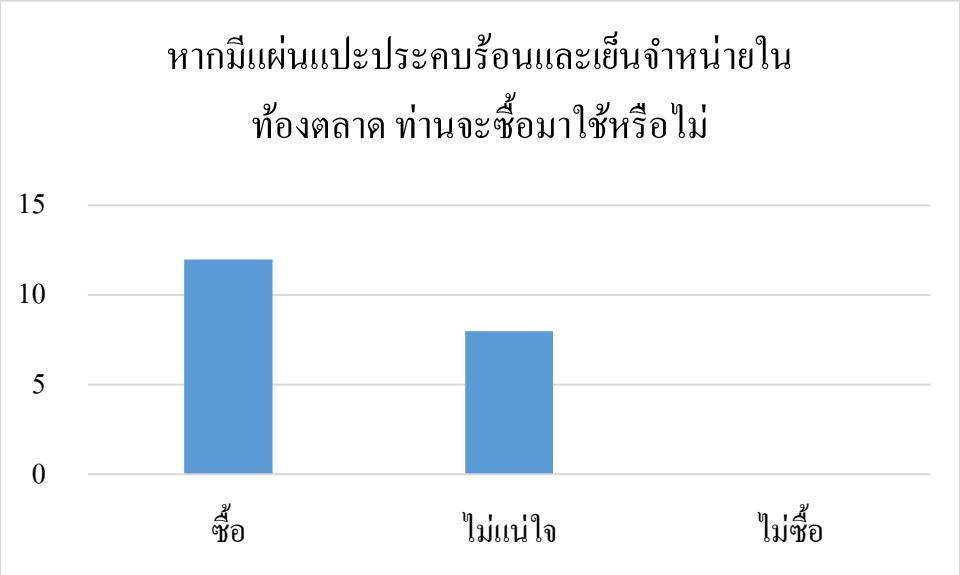
น้อย (1 คะแนน)	1	คน
ปานกลาง(2 คะแนน)	13	คน
มาก (3 คะแนน)	6	คน



รูปที่ 29 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับความสะดวกรวดเร็วและความสวยงามน่าใช้ของผลิตภัณฑ์

6 หากมีแผ่นแปะประคบร้อนประคบเย็นจำหน่ายในท้องตลาด ท่านจะซื้อมาใช้หรือไม่

ไม่ซื้อ (1 คะแนน)	0	คน
ไม่แน่ใจ (2 คะแนน)	8	คน
ซื้อ (3 คะแนน)	12	คน



รูปที่ 30 แสดงจำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับการซื้อแผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็นมาใช้

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

มีน้ำออกมาจากผลิตภัณฑ์ แผ่นแปะมีความเหนอะหนะ และแผ่นแปะมีความหนาที่มากเกินไป ควรมีการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความสะดวกในการใช้งานที่มากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ทดลองใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็นโดยใช้สถิติ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น โดยใช้แบบมาตรประมาณค่าแบบ Likert ชนิด 3 ระดับ แบ่งเป็น ตัวเลือกที่มีคะแนนเท่ากับ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยค่าสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วทำการแปลผลโดยทำการแบ่งช่วง เป็น 3 ช่วงเท่าๆ กัน เป็น 3 ระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.67 หมายถึง ตัวเลือกที่มีคะแนนเท่ากับ 1

ค่าเฉลี่ย 1.68 – 2.34 หมายถึง ตัวเลือกที่มีคะแนนเท่ากับ 2

ค่าเฉลี่ย 2.35 – 3.00 หมายถึง ตัวเลือกที่มีคะแนนเท่ากับ 3

ตารางที่ 40 แสดงผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น

หัวข้อการประเมิน	คะแนนรวม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	การแปลความหมาย
1. แผ่นแปะประคบร้อน				
- ระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบร้อน	39	1.95	0.51	ร้อนพอเหมาะ
- ความเหมาะสมของระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบร้อนเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิสูงขึ้น(Onset)	44	2.2	0.41	พอเหมาะ
- ความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิ (Duration) แผ่นแปะประคบร้อน	40	2	0.32	นานพอเหมาะ
2. แผ่นแปะประคบเย็น				
- ระดับอุณหภูมิของแผ่นแปะประคบเย็น	40	2	0.32	ปานกลาง
- ความเหมาะสมของระยะเวลาที่แผ่นแปะประคบเย็นเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิสูงขึ้น (Onset)	40	2	0.45	พอเหมาะ
- ความเหมาะสมของระยะเวลาในการปลดปล่อยอุณหภูมิ (Duration) แผ่นแปะประคบเย็น	40	2	0.32	นานพอเหมาะ
3. ความเหมาะสมของขนาดแผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น	46	2.3	0.47	พอเหมาะ
4. ความสะดวกรวดเร็วและความสวยงามน่าใช้ของผลิตภัณฑ์	45	2.25	0.55	ปานกลาง
5. หากมีแผ่นแปะประคบร้อนประคบเย็นจำหน่ายในท้องตลาด ท่านจะซื้อมาใช้หรือไม่	52	2.6	0.50	ซื้อ

สรุปผลการประเมินผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น

- แผ่นแปะประคบร้อนสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิได้ร้อนพอเหมาะ โดยเริ่มต้นปลดปล่อยอุณหภูมิที่สูงขึ้นออกมาได้ในระยะเวลาที่พอเหมาะ และสามารถอยู่ได้ในระยะเวลาที่นานพอเหมาะ
- แผ่นแปะประคบเย็นสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิได้เย็นพอเหมาะ โดยเริ่มต้นปลดปล่อยอุณหภูมิที่ต่ำลงออกมาได้ในระยะเวลาที่พอเหมาะ และสามารถอยู่ได้ในระยะเวลาที่นานพอเหมาะ
- แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็นมีขนาดพอเหมาะ
- ความสะดวกรวดเร็วและความสวยงามน่าใช้ของผลิตภัณฑ์ประคบร้อนและประคบเย็นอยู่ในระดับปานกลาง
- หากมีแผ่นแปะประคบร้อนประคบเย็นจำหน่ายในท้องตลาดจะซื้อผลิตภัณฑ์มาใช้

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

5.1 อภิปรายผลการศึกษาหาพอลิเมอร์ที่สามารถเตรียมเป็นแผ่นแปะไฮโดรเจล

เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ต่างๆที่สามารถนำมาเตรียมเป็นสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจล โดยคัดเลือกจากลักษณะทางกายภาพ พบว่าสูตรตำรับ A2 (ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 5%โดยน้ำหนัก) สูตรตำรับ C2 (ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 5% และคาร์โบพอล 940 0.5%โดยน้ำหนัก) สูตรตำรับ C3 (ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 5% และโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 3 %โดยน้ำหนัก) สูตรตำรับ C4 (ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 5% และเจละติน 5 % โดยน้ำหนัก) ทั้ง 4 ตำรับข้างต้นมีลักษณะทางกายภาพที่ดี ค่อนข้างคงรูป และมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะไฮโดรเจล จึงเป็นสูตรตำรับที่เหมาะสมแก่การนำไปพัฒนาในขั้นต่อไป

เมื่อนำสูตรตำรับ A2, C2, C3, และC4 มาทำการศึกษาในเรื่องการปลดปล่อยอุณหภูมิและปริมาณน้ำในสูตรตำรับของแผ่นไฮโดรเจลร่วมกับลักษณะทางกายภาพ พบว่าสูตรไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 5% และเจละติน 5 %โดยน้ำหนัก มีลักษณะที่ดีที่สุด กล่าวคือ มีลักษณะทางกายภาพที่ดี คงรูป สามารถลอกเป็นแผ่นได้ และมีปริมาณน้ำในสูตรตำรับแผ่นไฮโดรเจลแล้วมีอยู่ 85.49 % เมื่อศึกษาอุณหภูมิแผ่นแปะประคบร้อน พบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่ปลดปล่อยออกมา มีค่าสูงที่สุด (38.9 ± 0.05 °C) และคงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (33 °C) ได้นานที่สุด (16 นาที) ส่วนการศึกษาอุณหภูมิในแผ่นประคบเย็น จะมีลักษณะการปลดปล่อยอุณหภูมิที่เป็นรองจากแผ่นประคบร้อนอยู่บ้าง โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่ปลดปล่อยออกมา คือ 23.8 °C และสามารถคงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง ได้นานตลอดการศึกษา

5.2 อภิปรายผลการศึกษาหาเกลือที่ใช้ในการดูดความร้อนของแผ่นประคบเย็น

จากการสืบค้นข้อมูลพบว่า เกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลองข้างต้น เมื่อนำไปละลายในน้ำจะสามารถดูดพลังงานความร้อนได้สูงจึงน่าจะปลดปล่อยอุณหภูมิได้ต่ำ แต่เมื่อนำมาทดสอบในแผ่นไฮโดรเจลแล้วพบว่า ให้ระดับอุณหภูมิไม่ต่ำตามที่ต้องการ เนื่องจากลักษณะผิวของเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ไม่ค่อยเปียกน้ำ จึงทำให้ระดับอุณหภูมิที่ได้ไม่ต่ำตามที่ต้องการ จึงทำการคัดเลือกหาเกลือชนิดอื่นที่เมื่อละลายน้ำแล้วเกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อนและมีการเปียกน้ำที่ดีด้วย พบว่าเกลือแอมโมเนียมไนเตรต มีลักษณะการเปียกน้ำที่ดี และมีการละลายน้ำที่ดีด้วย (ค่าการละลาย 1 กรัมละลายในน้ำ 0.5 มิลลิลิตร[6]) จากผลการศึกษาแอมโมเนียมไนเตรต พบว่าสามารถปลดปล่อยให้อุณหภูมิลงต่ำที่สุดถึง 15 องศาเซลเซียส นานถึง 3 นาที จึงเลือกแอมโมเนียมไนเตรตมาใช้ในแผ่นแปะประคบเย็นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการดูดความร้อน

5.3 อภิปรายผลการตั้งสูตรตำรับ

จากการทดลองตั้งสูตรตำรับพบว่า สูตรตำรับไฮโดรเจลที่ประกอบด้วยไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละตินเป็นสารก่อเจลในสูตรตำรับนั้น เป็นสูตรไฮโดรเจลที่มีความเหมาะสมมากที่สุด จึงทำการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำหนักรวมของสารก่อเจลเป็นร้อยละ 5, 10 และ 15 ร่วมกับการปรับอัตราส่วนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสต่อเจละตินเป็น 2:1, 1:1 และ 1:2 ได้เป็นสูตรตำรับทั้งหมด 9 สูตร คือ สูตร T1-T9 เมื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ปริมาณน้ำในสูตรตำรับ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นไฮโดรเจล พบว่าสูตรตำรับที่ดีที่สุดคือสูตร T6 ซึ่งประกอบด้วยไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 6.67% เจละติน 3.33% กลีเซอริน 2% เมทธิลพาราเบน 0.1% โพรพิลพาราเบน 0.02% โดยน้ำหนัก และน้ำเป็นส่วนที่เหลือ โดยหน้าที่และคุณสมบัติของส่วนประกอบต่างๆ ในสูตรตำรับไฮโดรเจล มีดังนี้

(1) ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ที่สามารก่อเจลที่มีลักษณะใส ขึ้นรูปและคงรูปเป็นแผ่นแปะได้ และยังช่วยในการกักเก็บน้ำไว้ในสูตรตำรับ มีผลต่อระยะเวลาที่แผ่นแปะสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนัง โดยจะพบว่าสูตรตำรับที่ประกอบด้วย ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสในสัดส่วนที่สูงกว่าเจละตินจะมีผลทำให้ระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้ยาวนานกว่าสูตรที่มีไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสในสัดส่วนที่ต่ำกว่าเจละติน

(2) เจละติน เป็นสารก่อเจลในสูตรตำรับ ช่วยเพิ่มความคงรูปให้แก่แผ่นแปะ แต่มีข้อเสียคือทำให้แผ่นแปะที่ได้มีสีเหลืองเล็กน้อย

(3) กลีเซอริน เป็นสารที่ช่วยในการกักเก็บน้ำไว้ในสูตรตำรับ เพิ่มความชุ่มชื้นของไฮโดรเจล ทำให้ผิวหน้าของแผ่นไฮโดรเจลไม่แห้งจนเกินไป

(4) เมทธิลพาราเบนและโพรพิลพาราเบน เป็นสารที่ช่วยป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในสูตรตำรับไฮโดรเจล ซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมาก

(5) น้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการกระจายพอลิเมอร์ที่สามารถก่อเจลให้มีการพองตัว นอกจากนี้น้ำยังเป็นปัจจัยหลักในการเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนและคายความร้อนกับเกลือที่เลือกใช้

5.3.1 อภิปรายผลการประเมินลักษณะทางกายภาพ

จากการพิจารณาลักษณะทางกายภาพของแผ่นแปะไฮโดรเจล พบว่าสูตรตำรับที่มีปริมาณรวมของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสและเจละตินน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของสูตรตำรับจะได้แผ่นไฮโดรเจลที่มีลักษณะเหลว ไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นอยู่ได้ เมื่อเพิ่มปริมาณรวมของสารก่อเจลมาเป็นที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของสูตรตำรับ พบว่าแผ่นไฮโดรเจลที่ได้มีลักษณะที่คงรูปมากขึ้น ขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ดี มีสีเหลืองเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณรวมของสารก่อเจลมาเป็นที่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของสูตรตำรับ พบว่าแผ่นไฮโดรเจลที่ได้ มีลักษณะคงรูปเป็นแผ่นได้ดีที่สุด แต่แผ่นไฮโดรเจลที่ได้จะมีลักษณะเหลืองขุ่น เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนระหว่างไฮดรอกซีเอ

ทธิลเซลลูโลสต่อเจละติน พบว่าสูตรตำรับที่มีปริมาณเจละตินมากกว่า จะได้แผ่นไฮโดรเจลที่มีความแข็งและคงรูปมากกว่า แต่จะมีสีเหลืองของเจละตินเพิ่มขึ้น ส่วนสูตรตำรับที่มีปริมาณของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสมากกว่า จะได้แผ่นไฮโดรเจลที่มีลักษณะใส มีความยืดหยุ่นที่มากกว่า โดยสูตรตำรับ T6 เป็นสูตรที่มีลักษณะทางกายภาพต่างๆ เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นสูตรแผ่นแปะไฮโดรเจลที่มีลักษณะใส มีสีเหลืองเล็กน้อย มีความยืดหยุ่น ผิวเรียบ คงรูปและสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะได้ดี

5.3.2 อภิปรายผลการประเมินปริมาณน้ำในสูตรตำรับไฮโดรเจล

จากการประเมินปริมาณน้ำในสูตรตำรับที่วัดโดยใช้วิธี loss on drying พบว่าสูตรตำรับที่มีปริมาณรวมของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสรวมและเจละตินที่น้อย จะมีปริมาณน้ำในสูตรตำรับที่สูงกว่าสูตรตำรับที่มีปริมาณรวมของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสรวมและเจละตินที่มากกว่า อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำในสูตรตำรับที่มากกว่า เมื่อพิจารณาผลของการปรับเปลี่ยนสัดส่วนและปริมาณของสารก่อเจล พบว่าสูตรตำรับที่มีปริมาณเจละตินมากกว่าจะทำให้ได้ผลการวัดปริมาณน้ำจากการวัดด้วยวิธี loss on drying ที่มากกว่า โดยปริมาณรวมของสารก่อเจล จะส่งผลต่อปริมาณน้ำในสูตรตำรับที่มากกว่าผลของอัตราส่วนระหว่างไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสต่อเจละติน

5.3.3 อภิปรายผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นแปะไฮโดรเจล

สำหรับแผ่นประคบร้อน พิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อนำแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับทดสอบกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ในด้านต่างๆ ดังนี้

(1) <u>ระยะเวลาที่แผ่นแปะสามารถควบคุมอุณหภูมิ (duration)</u> พบว่า สูตรตำรับที่มีปริมาณผลรวมของสารก่อเจลที่สูงสุด คือร้อยละ 15 ของตำรับ จะมีผลให้ระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิร่างกายที่บริเวณผิวหนัง(duration)ได้นานกว่า สูตรตำรับที่มีผลรวมของปริมาณสารก่อเจล ร้อยละ10 และร้อยละ 5 ตามลำดับ และสูตรตำรับที่มีอัตราส่วนของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสที่มากกว่า จะทำให้ระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิร่างกายที่บริเวณผิวหนัง (duration) ได้นานกว่า

(2) <u>ระดับอุณหภูมิสูงสุด</u> พบว่า สูตรตำรับที่มีไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสในอัตราส่วนที่มากกว่า จะมีแนวโน้มที่จะให้ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า

(3) <u>ระยะเวลาที่แผ่นแปะเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้สูงขึ้น (onset)</u> ไม่พบความแตกต่างกันในแต่ละสูตรตำรับ

สำหรับแผ่นประคบเย็น พิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อนำแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตรตำรับทดสอบกับเกลือแอมโมเนียมไนเตรต ในด้านต่างๆ ดังนี้

(1) <u>ระยะเวลาที่แผ่นแปะสามารถควบคุมอุณหภูมิ (duration)</u> ทุกสูตรตำรับสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้ตลอดการศึกษา แต่สูตรตำรับที่มีปริมาณรวมของสารก่อเจลที่

สูงสุด คือ ร้อยละ 15 ของสูตรตำรับ จะทำให้แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ให้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้นานกว่าสูตรตำรับที่มีปริมาณรวมของสารก่อเจลเท่ากับ ร้อยละ10 และร้อยละ 5 ตามลำดับ และสูตรตำรับที่มีอัตราส่วนของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสที่มากกว่า จะมีผลทำให้ระยะเวลาที่แผ่นแปะสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิเริ่มต้นนั้นนานกว่า

(2) ระดับอุณหภูมิต่ำสุด พบว่าสูตรตำรับที่มีอัตราส่วนของไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสที่มากกว่า มีแนวโน้มที่จะให้ระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

(3) ระยะเวลาที่แผ่นแปะเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้ต่ำลง (onset) ไม่พบความแตกต่างกันในแต่ละสูตรตำรับ

จากการอภิปรายผล พบว่า สูตรตำรับไฮโดรเจลที่มีคุณสมบัติในด้านต่างๆ ทั้งลักษณะทางกายภาพ ปริมาณน้ำในสูตรตำรับ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทำแผ่นแปะประคบร้อนและเย็น คือ สูตรตำรับ T6 ซึ่ง เมื่อทดสอบกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ จะทำให้แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (duration) ได้นาน 10 นาที มีระดับอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 36.1 °C และระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้สูงขึ้น (onset) คือ 2 นาที เมื่อทดสอบกับเกลือแอมโมเนียมไนเตรต จะทำให้แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (duration) ได้นาน 30 นาที มีระดับอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 27.7 °C และระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้ต่ำลง คือ 2 นาที

5.4. อภิปรายผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนปริมาณเกลือต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากการพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของเกลือแคลเซียมคลอไรด์และแอมโมเนียมไนเตรต พบว่า

(1) ปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนังนานกว่า และระดับอุณหภูมิสูงสุดที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถปลดปล่อยออกมาได้ จะมีระดับที่สูงกว่าด้วย โดยปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสม คือ 8 กรัมต่อแผ่น ทำให้ระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้นานกว่า และสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิในระดับที่สูงกว่า ปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์ที่ 6 กรัมต่อแผ่น และ 4 กรัมต่อแผ่น ตามลำดับ

(2) ปริมาณเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังนานกว่า และระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถปลดปล่อยออกมาได้ จะมีระดับที่ต่ำกว่าด้วย โดยปริมาณเกลือแอมโมเนียมไนเตรตที่เหมาะสม คือ 8 กรัมต่อแผ่น ทำให้ระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้นานกว่า และสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิในระดับที่ต่ำกว่า ปริมาณเกลือแอมโมเนียมไนเตรตที่ 6 กรัมต่อแผ่น และ 4 กรัมต่อแผ่น ตามลำดับ

ดังนั้น ปริมาณเกลือแคลเซียมคลอไรด์และเกลือแอมโมเนียมไนเตรตที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองนี้ คือ 8 กรัมต่อแผ่น

5.5. อภิปรายผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการปรับเปลี่ยนปริมาณเจลในแต่ละแผ่นต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเจลในแต่แผ่น พบว่าเมื่อนำไฮโดรเจลปริมาณ 8.0 กรัมต่อแผ่น มาทดสอบกับเกลือแคลเซียมคลอไรด์จะทำให้แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้ในระยะเวลาที่นานกว่า และมีระดับอุณหภูมิสูงสุดที่สูงกว่าแผ่นไฮโดรเจลที่มีปริมาณ 5.5 กรัมต่อแผ่น และเมื่อทดสอบกับเกลือแอมโมเนียมไนเตรต พบว่า ปริมาณไฮโดรเจลที่ 8.0 กรัมต่อแผ่น มีผลให้แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้ในระยะเวลาที่นานกว่า และมีระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่ต่ำกว่าแผ่นไฮโดรเจลที่มีปริมาณ 5.5 กรัมต่อแผ่น ดังนั้นปริมาณไฮโดรเจลที่เหมาะสมจากการทดลองนี้ คือ 8.0 กรัมต่อแผ่น

โดยเมื่อนำเกลือแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 8 กรัม ทดลองกับสูตร T6 ซึ่งเป็นตำรับที่ดีที่สุดในปริมาณ 8.0 กรัมต่อแผ่น พบว่า แผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (duration) ได้ในระยะเวลาที่นานถึง 28 นาที มีระดับอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 41.3 °C และระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้สูงขึ้น (onset) คือ 2 นาที และเมื่อทดสอบกับเกลือแอมโมเนียมไนเตรต พบว่าแผ่นไฮโดรเจลสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนัง (duration) ได้ในระยะเวลาที่นานถึง 30 นาที มีระดับอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 26.8 °C และระยะเวลาที่แผ่นไฮโดรเจลเริ่มปลดปล่อยอุณหภูมิให้ต่ำลง (onset) คือ 2 นาที

5.6. อภิปรายผลการประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น

จากการสำรวจความพึงพอใจของผู้ร่วมทำการทดสอบผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น จำนวน 20 คน แล้วทำแบบประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น พบว่าผู้ทำการประเมินส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่า แผ่นแปะประคบร้อนสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิในระดับพอเหมาะ โดยเริ่มต้นปลดปล่อยอุณหภูมิที่สูงขึ้นออกมาได้ในระยะเวลาที่พอเหมาะ และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในระยะเวลาที่นานพอเหมาะ สำหรับแผ่นแปะประคบเย็นสามารถปลดปล่อยอุณหภูมิได้ในระดับที่พอเหมาะ โดยเริ่มต้นปลดปล่อยอุณหภูมิที่ต่ำลงออกมาได้ในระยะเวลาที่พอเหมาะ และควบคุมอุณหภูมิได้ในระยะเวลาที่นานพอเหมาะ สำหรับความเหมาะสมของแผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น พบว่ามีขนาดที่พอเหมาะ และมี

ความสะดวกรวดเร็วและความสวยงามน่าใช้ของผลิตภัณฑ์ประคบร้อนและประคบเย็นอยู่ในระดับปานกลาง หากมีแผ่นแปะประคบร้อนประคบเย็นจำหน่ายในท้องตลาดจะซื้อผลิตภัณฑ์มาใช้

สรุปผลการทดลอง

สูตรตำรับแผ่นแปะผิวหนังที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสำหรับบรรเทาอาการฟกช้ำเป็นสูตรตำรับในรูปแบบแผ่นแปะไฮโดรเจล ซึ่งมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในสูตรตำรับในปริมาณสูง โดยสูตรตำรับไฮโดรเจลที่พัฒนาขึ้นนั้น ประกอบด้วยไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 6.67% เจละติน 3.33% กลีเซอรีน 2% % เมทธิลพาราเบน 0.1% โพรพิลพาราเบน 0.02% โดยน้ำหนัก และน้ำเป็นส่วนที่เหลือ โดยเป็นสูตรที่มีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม มีความคงรูปเป็นแผ่นแปะได้ยืดหยุ่น และมีสีเหลืองเล็กน้อย ปริมาณน้ำในแผ่นแปะ 83.80 % โดยการเตรียมเป็นแผ่นแปะจะใช้ไฮโดรเจลปริมาณ 8.0 กรัม เมื่อต้องการใช้จะนำแผ่นแปะไฮโดรเจลมาประกอบเข้ากับซองบรรจุเกลือแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 8 กรัมต่อซอง โดยให้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิผิวหนัง(33 องศาเซลเซียส)ได้นานกว่า 20 นาที และให้ระดับอุณหภูมิสูงสุด 41.3 องศาเซลเซียส เมื่อต้องการใช้จะนำแผ่นแปะไฮโดรเจลมาประกอบเข้ากับซองบรรจุเกลือแอมโมเนียมไนเตรตปริมาณ 8 กรัมต่อซอง โดยให้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวหนังได้นานมากกว่า 20 นาที และให้อุณหภูมิต่ำสุด 26.8 องศาเซลเซียส ในด้านความพึงพอเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์แผ่นแปะประคบร้อนและประคบเย็น พบว่าส่วนใหญ่มีความพึงพอใจทั้งในเรื่องระดับอุณหภูมิที่ปลดปล่อยและระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์สามารถควบคุมได้ อีกทั้งขนาดของแผ่นยังมีความเหมาะสม แต่ความน่าใช้และความสวยงามของผลิตภัณฑ์อาจต้องทำการปรับปรุงเพิ่มเติม และยังขาดการศึกษาทางด้านความคงตัวของผลิตภัณฑ์ จึงควรมีการศึกษาถึงความคงสภาพเพิ่มเติมต่อไป

รูปที่ 31 แสดงผลิตภัณฑ์ชุดแผ่นแปะประคบร้อน

รูปที่ 32 แสดงผลิตภัณฑ์ชุดแผ่นแปะประคบเย็น

เอกสารอ้างอิง

1. Drug Information Online Drugs.com. Contustion [homepage on the internet]. Thomson Reuters Micromrdex. 2012. Available at: http://www.drugs.com/cg/contusion.htm. Accessed June 17, 2012.
2. วรวรรธน์ ลิ้มทองกุล. หน่วยสุขศึกษา โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย [โฮมเพจบนอินเทอร์เน็ต]. อาการฟกช้ำและอาการปวดเคล็ด. [1 ธ.ค. 2555] เข้าถึงได้จาก: http://www.chulalongkornhospital.go.th/unit/opdchula/opdchula/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=63.
3. Online labs. Exothermic and Endothermic Reactions [homepage on the internet]. Available from: http://cdac.olabs.co.in/?sub=75&brch=12&sim=92&cnt=1. Accessed November 17, 2012.
4. About. Coms Chemistry. Hot Ice or Sodium Acetate - Make Hot Ice or Sodium Acetate from Vinegar and Baking Soda [homepage on the internet]. Available from: http://chemistry.about.com/od/homeexperiments/a/make-hot-ice-sodium-acetate.htm. Accessed November 17, 2012.
5. Rowe RC, Sheskey PJ, Quinn ME, editors. Handbook of Pharmaceutical Excipients. 6th ed. London: Pharmaceutical Press; 2009.
6. CambridgeSoft Corporation. The merck index. 13th ed. New Jersey: MERCK & Co.,Inc. 2006.
7. The Dow Chemical Company. CALCIUM CHLORIDE HANDBOOK **A** Guide to Properties, Forms, Storage and Handling [serial online]. 2003: [28 screens]. Available from: http://www.glchloride.com/brochure/Brochure%20-%20Calcium%20chloride%20handbook.pdf. Accessed November 5, 2012.
8. Aluminumsulfate.net. [homepage on the internet]. Available from: http://www.aluminumsulfate.net/Ammonium-Sulfate.html. Accessed November 17, 2012.
9. Chippada U. Non-Intrusive Characterization of Properties of Soft Hydrogels. In: Hydrogels and their Properties [serial online] 2010: [174 screens]. Accessed November 17, 2012.

10. Gulrez Syed KH., Al-Assaf S. and Phillips GO. Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications [serial online]. 2011: [35 screens] Available from: http://cdn.intechopen.com/pdfs/17237/InTech-Hydrogels_methods_of_preparation_characterisation_and_applications.pdf. Accessed November 5, 2012.
11. Peppasa N.A., Buresa P., Leobandunga W. and Ichikawa H. Hydrogels in pharmaceutical formulations. BJP [serial online]. 2000; 50: p. 27-46. Available from: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0939641100000904. Accessed November 5, 2012.
12. Friend DG, Poling BE, Rowley RL, Thomson GH and Wilding WV. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 8th ed. The United States of America: McGraw-Hill Companies Inc; 2007:2-203 - 2- 206. Accessed November 17, 2012.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีการเตรียมเจลแต่ละสูตรตำรับ

สูตร A1

1. ชั่งน้ำ 48.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งคาร์โบพอล 940 0.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้คาร์โบพอล 940 กระจายตัว
3. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 2. คนให้เข้ากัน
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. เติมไตรเอทาโนลามีนประมาณ 1-2 หยด พร้อมกับคนจนเกิดเจลที่พองตัวและใส
6. เทลง petri dish ให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
8. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร A2

1. ชั่งน้ำ 46.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัว
3. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 2. คนให้เข้ากัน
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. นำข้อ 4. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด
6. เมื่อสารละลายเริ่มข้นหนืด ให้เทลง petri dish จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
8. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร A3

1. ชั่งแซนแทน กัม 1.0 กรัม เทลงในโกร่งกระเบื้อง
2. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 1. บดผสมให้เข้ากัน
3. ชั่งน้ำ 47.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เทลงในข้อ 3. พร้อมกับบดผสมตลอดเวลาไปในทิศทางเดียวกัน จนแซนแทน กัม พองตัวเต็มที่
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 4. ผสมให้เข้ากัน
5. เทลง petri dish จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
6. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง

7. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร A4

1. ชั่งน้ำ 45.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งเจละติน 3.0 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้เจละติน กระจายตัว
3. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 2. คนให้เข้ากัน
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. นำข้อ 4. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนเจละตินละลายหมดเป็นสารละลายใส
6. เทลง petri dish ขณะร้อน จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
8. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร A5

1. ชั่งน้ำ 41.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส 7.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1.คนให้กระจายตัว
3. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 2. คนให้เข้ากัน
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. นำข้อ 3. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสละลายหมด ได้เป็นสารละลายข้นหนืดใส
6. เทลง petri dish ขณะร้อน จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
8. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร A6

1. ชั่งน้ำ 45.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 3.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้กระจายตัว
3. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 2. คนให้เข้ากัน
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. นำข้อ 3. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ละลายหมด ได้เป็นสารละลายข้นหนืดใส
6. เทลง petri dish ขณะร้อน จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
8. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร C1

1. ชั่งน้ำ 45.25 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งเจละติน 3.0 กรัม ค่อยๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้เจละตินกระจายตัวทั่ว
3. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 2. คนให้เข้ากัน
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. นำข้อ 4. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนเจละตินละลายหมด ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
6. ชั่งคาร์โบพอล 940 จำนวน 0.25 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 5. คนให้คาร์โบพอล 940 กระจายตัว
7. เติมไตรเอทาโนลามีนประมาณ 1-2 หยด พร้อมกับคนจนเกิดเจลที่พองตัว มีความข้นหนืด
8. เทลง petri dish ให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
9. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
10. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร C2

1. ชั่งน้ำ 45.75 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งคาร์โบพอล 940 จำนวน 0.25 กรัม ค่อย ๆ โปรยคาร์โบพอล 940 ลงในข้อ 1. คนให้คาร์โบพอล 940 กระจายตัวทั่ว
3. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อยๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
4. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 4. คนให้เข้ากัน
6. นำข้อ 5. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
7. เติมไตรเอทาโนลามีนประมาณ 1-2 หยด พร้อมกับคนจนเกิดเจลที่พองตัว มีความข้นหนืด
8. เทลง petri dish ให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
9. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
10. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

สูตร C3

1. ชั่งน้ำ 44.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งโพลีไวนิล ไพโรลิโดน เค 30 จำนวน 1.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้โพลีไวนิล ไพโรลิโดน เค 30 ละลายหมด จะได้เป็นสารละลายใส

3. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อยๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
4. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 4. คนให้เข้ากัน
6. นำข้อ 5. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
7. เทลง petri dish ให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
8. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
9. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

<u>สูตร C4</u>

1. ชั่งน้ำ 26.2 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 17.3 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 2.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อยๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 4. คนให้เข้ากัน
6. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 5. คนให้เข้ากัน
7. นำข้อ 3. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนเจละตินละลายหมด ได้เป็นสารละลายใสสีเหลือง ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
8. ค่อย ๆ เทสารละลายเจละตินขณะร้อนในข้อ 7. ลงในข้อ 6. พร้อมคนตลอดเวลา แล้วนำไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
9. เทลง petri dish ให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
10. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
11. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

<u>สูตร C5</u>

1. ชั่งน้ำ 48.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งคาร์โบพอล 940 จำนวน 0.25 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้คาร์โบพอล 940 กระจายตัวทั่ว
3. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 2. คนให้เข้ากัน

4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. ชั่งแซนแทน กัม 0.25 กรัม ลงในโกร่งกระเบื้อง
6. ค่อย ๆ เทสารในข้อ 4. ลงในข้อ 5. พร้อมกับบดผสมไปในทิศทางเดียวกัน จนแซนแทน กัม พองตัวเต็มที่
7. เติมไตรเอทาโนลามีนประมาณ 1-2 หยด พร้อมกับคนจนเกิดเจลที่พองตัว มีความข้นหนืด
8. เทลง petri dish ให้มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
9. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
10. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

<u>สูตร C6</u>

1. ชั่งน้ำ 39.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 6.0 กรัม ค่อยๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้ละลาย จะได้เป็นสายละลายใส
3. ชั่งโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 3.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้กระจายตัว
4. เติมกลีเซอรีน 1.0 กรัม ลงในข้อ 3. คนให้เข้ากัน
5. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 4. คนให้เข้ากัน
6. นำข้อ 5. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ละลายหมด ได้เป็นสารละลายข้นหนืดใส
7. เทลง petri dish ขณะร้อน จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร
8. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง
9. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ

<u>สูตร P1</u>

1. ชั่งน้ำ 46.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
3. เติมกลีเซอรีนจำนวน 1.5 กรัม ลงในข้อ 2. และคนให้เข้ากัน
4. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 3. และคนให้เข้ากัน
5. นำข้อ 5. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
6. เทลง petri dish จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน
7. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง

8. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับ (Loss on drying) วัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด

<u>สูตร P2</u>

1. ชั่งน้ำ 45.95 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งคาร์โบพอล 940 จำนวน 0.05 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้คาร์โบพอล 940 กระจายตัวทั่ว
3. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
4. เติมกลีเซอรีนจำนวน 1.5 กรัม ลงในข้อ 3. และคนให้เข้ากัน
5. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 4. และคนให้เข้ากัน
6. นำข้อ 5. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
7. เติมไตรเอทาโนลามีนประมาณ 1-2 หยด พร้อมกับคนจนเกิดเจลที่พองตัว มีความข้นหนืด
8. เทลง petri dish จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน
9. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง
10. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับ (loss on drying) วัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด

<u>สูตร P3</u>

1. ชั่งน้ำ 44.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งโพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 จำนวน 1.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนให้โพลีไวนิล ไพโรลลิโดน เค 30 ละลายหมด จะได้เป็นสารละลายใส
3. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
4. เติมกลีเซอรีนจำนวน 1.5 กรัม ลงในข้อ 3. และคนให้เข้ากัน
5. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 4. และคนให้เข้ากัน
6. นำข้อ 5. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลา จนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
7. เทลง petri dish จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน
8. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง

9. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับ(loss on drying) วัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด

<u>สูตร P4</u>

1. ชั่งน้ำ 26.7 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 17.8 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 2.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 2.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. เติมกลีเซอรีนจำนวน 1.5 กรัม ลงในข้อ 4. และคนให้เข้ากัน
6. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.5 กรัม ลงในข้อ 5. และคนให้เข้ากัน
7. นำข้อ 3. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนเจละตินละลายหมด ได้เป็นสารละลายใสสีเหลือง ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
8. ค่อย ๆ เทสารละลายเจละตินขณะร้อนในข้อ 7. ลงในข้อ 6. คนตลอดเวลา แล้วนำไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
9. เทลง petri dish จนได้ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน
10. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง
11. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับ(loss on drying) และวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด

<u>สูตร T1</u>

1. ชั่งน้ำ 5.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.7 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.333 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.167 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. เติมกลีเซอรีนจำนวน 0.2 กรัม ลงในข้อ 4. และคนให้เข้ากัน
6. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.1 กรัม ลงในข้อ 5. และคนให้เข้ากัน
7. นำข้อ 3. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนเจละตินละลายหมด ได้เป็นสารละลายใสสีเหลือง ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)

8. ค่อย ๆ เทสารละลายเจละตินขณะร้อนในข้อ 7. ลงในข้อ 6. คนตลอดเวลา แล้วนำไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
9. เทลงถาดหลุมกลมเคลือบด้วยเทฟล่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร
10. ตั้งทิ้งไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
11. บันทึกผลที่ได้ โดยดูลักษณะทางกายภาพ วัดปริมาณน้ำในสูตรตำรับ(loss on drying) วัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด

<u>สูตร T2</u>

1. ชั่งน้ำ 5.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.7 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.25 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.25 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

<u>สูตร T3</u>

1. ชั่งน้ำ 5.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.7 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.167 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.333 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

<u>สูตร T4</u>

1. ชั่งน้ำ 5.2 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.677 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.333 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

<u>สูตร T5</u>

1. ชั่งน้ำ 5.2 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว

4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

<u>สูตร T6</u>

1. ชั่งน้ำ 5.2 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.333 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.677 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

<u>สูตร T7</u>

1. ชั่งน้ำ 4.9 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.3 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 1.0 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

<u>สูตร T8</u>

1. ชั่งน้ำ 4.9 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.3 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.75 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.75 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

<u>สูตร T9</u>

1. ชั่งน้ำ 4.9 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.3 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.5 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 1.0 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. แล้วทำเช่นเดียวกับสูตร T1 ตั้งแต่ข้อ 5-11

สูตร T6 5.5 กรัม

1. ชั่งน้ำ 2.78 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 2 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.18 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.37 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. เติมกลีเซอรีนจำนวน 0.11 กรัม ลงในข้อ 4. และคนให้เข้ากัน
6. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.56 กรัม ลงในข้อ 5. และคนให้เข้ากัน
7. นำข้อ 3. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนเจละตินละลายหมด ได้เป็นสารละลายใสสีเหลือง ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
8. ค่อย ๆ เทสารละลายเจละตินขณะร้อนในข้อ 7. ลงในข้อ 6. คนตลอดเวลา แล้วนำไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
9. เทลงถาดสแตนเลส
10. ตั้งทิ้งไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
11. บันทึกผลที่ได้ โดยวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด
12. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 รอบ

สูตร T6 8.0 กรัม

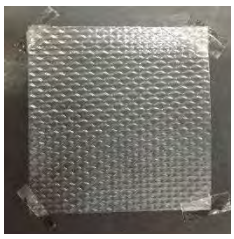
1. ชั่งน้ำ 3.96 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำ 3.0 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. ชั่งเจละติน 0.16 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 1. คนเจละตินกระจายตัวทั่ว
4. ชั่งไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส 0.53 กรัม ค่อย ๆ โปรยลงในข้อ 2. คนให้ไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลส กระจายตัวทั่ว
5. เติมกลีเซอรีนจำนวน 0.08 กรัม ลงในข้อ 4. และคนให้เข้ากัน
6. เติมพาราเบนคอนเซนเทรต จำนวน 0.02 กรัม ลงในข้อ 5. และคนให้เข้ากัน
7. นำข้อ 3. ตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนเจละตินละลายหมด ได้เป็นสารละลายใสสีเหลือง ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate)
8. ค่อย ๆ เทสารละลายเจละตินขณะร้อนในข้อ 7. ลงในข้อ 6. คนตลอดเวลา แล้วนำไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน(Hot Plate) พร้อมกับคนตลอดเวลาจนไฮดรอกซีเอทธิลเซลลูโลสละลายหมด (สังเกตจากเริ่มมีความข้นหนืด) ยกลงจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
9. เทลงถาดสแตนเลสขนาด 5x9x1 นิ้ว (เตรียมครั้งละ 3 แผ่น)

10. ตั้งทิ้งไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
11. บันทึกผลที่ได้ โดยวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 2 นาที ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด
12. ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 รอบ

ภาคผนวก ข.

ข 1. วิธีการเตรียมถุงที่ใช้ในการบรรจุเกลือขนาด 6 X 6 ตารางเซนติเมตร

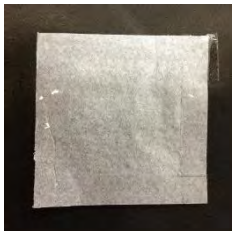
1. ตัดกระดาษชีฟฟอน ขนาด 6 X 6 ตารางเซนติเมตร และติดเทปใสลึกเข้ามาจากขอบทั้งสี่ด้าน ด้านละ 1 เซนติเมตร
2. ตัดแผ่นพลาสติก ขนาด 6 X 6 ตารางเซนติเมตร



3. นำกระดาษชีฟฟอนด้านที่ติดเทปใสไว้ในข้อ 2. ประกบเข้ากับแผ่นพลาสติก
4. ปิดผนึกกระดาษชีฟฟอนให้ยึดติดกับพลาสติกด้วยความร้อนที่บริเวณขอบกระดาษลึกเข้ามาจากขอบด้านละ 0.8 เซนติเมตร จำนวน 3 ด้าน เว้นไว้ 1 ด้านเพื่อใส่เกลือ

5. บรรจุเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 6 กรัม
6. ปิดผนึกถุงใส่เกลือด้านที่เหลือโดยใช้ความร้อนที่บริเวณขอบกระดาษลึกเข้ามาจากขอบ 0.8 เซนติเมตร

7. เก็บถุงเกลือที่บรรจุเกลือแล้วไว้ในอะลูมิเนียมฟอยด์
8. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-8 แต่เปลี่ยนเกลือในข้อ 6. เป็นแอมโมเนียมคลอไรด์
9. เมื่อทำเสร็จจะได้ถุงบรรจุเกลือที่มีพื้นที่ให้เกลือได้สัมผัสกับแผ่นแปะขนาด 4 X 4 ตารางเซนติเมตร



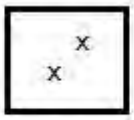
ข 2. วิธีการเตรียมถุงที่ใช้ในการบรรจุเกลือ

1. ตัดกระดาษชีฟฟอน ขนาด 5 X 5 ตารางเซนติเมตร
2. ติดเทปใสลึกเข้ามาจากขอบทั้งสี่ด้าน ด้านละ 1 เซนติเมตร
3. ตัดพลาสติก ขนาด 5 X 5 ตารางเซนติเมตร
4. นำกระดาษชีฟฟอนด้านที่ติดเทปใสไว้ในข้อ 2. ประกบเข้ากับพลาสติก
5. ปิดผนึกกระดาษชีฟฟอนให้ยึดติดกับพลาสติกด้วยความร้อนที่บริเวณขอบกระดาษลึกเข้ามาจากขอบด้านละ 0.8 เซนติเมตร จำนวน 3 ด้าน เว้นไว้ 1 ด้านเพื่อใส่เกลือ
6. บรรจุเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 3 กรัม
7. ปิดผนึกถุงใส่เกลือด้านที่เหลือโดนใช้ความร้อนที่บริเวณขอบกระดาษลึกเข้ามาจากขอบ 0.8 เซนติเมตร
8. ตัดขอบถุงเกลือที่อยู่โดยรอบตัดให้ชิดกับบริเวณที่ปิดผนึก
9. เก็บถุงเกลือที่บรรจุเกลือแล้วไว้ในอะลูมิเนียมฟอยด์
10. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-8 แต่เปลี่ยนเกลือในข้อ 6. เป็นแอมโมเนียมไนเตรต
11. เมื่อทำเสร็จจะได้ถุงบรรจุเกลือที่มีพื้นที่ให้เกลือได้สัมผัสกับแผ่นแปะขนาด 3 X 3 ตาราง เซนติเมตร

ภาคผนวก ค.

ค 1. วิธีการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแผ่นแปะไฮโดรเจลเมื่อประกบเข้ากับถุงเกลือ

1. นำแผ่นแปะไฮโดรเจลที่ได้จากในแต่ละสูตร มาตัดให้ได้ขนาด 6 X 6 ตารางเซนติเมตร (วางแผ่นแปะอยู่บนพลาสติกที่ใช้เป็น backing)
2. วัดอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลที่ยังไม่ได้นำไปประกบเข้ากับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ จำนวน 2 ตำแหน่งด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด บันทึกค่าที่ได้เป็นนาทีที่ 0 จากนั้นคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย
3. นำถุงเกลือที่บรรจุเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ประกบเข้ากับแผ่นแปะโดยหันด้านที่เป็นกระดาษมาสัมผัสกับแผ่นแปะไฮโดรเจล
4. วัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลทางด้านที่เป็นถุงเกลือทุกๆ 2 นาที จนครบ 40 นาที ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ในการวัดอุณหภูมิทุกๆ 2 นาทีจะทำการวัดอุณหภูมิบนแผ่นไฮโดรเจลจำนวน 2 ตำแหน่ง แล้วหาออกมาเป็นค่าเฉลี่ย



x = ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด

รูปที่ แสดงตำแหน่งของแผ่นไฮโดรเจลที่ทำการวัดอุณหภูมิ

5. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1–4 โดยเปลี่ยนจากถุงที่บรรจุเกลือแคลเซียมคลอไรด์ เป็นถุงที่บรรจุเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์
6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจลที่เตรียมไว้จนครบทุกสูตร

ค 2. วิธีการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแผ่นแปะไฮโดรเจลเมื่อประกบเข้ากับถุงเกลือ

1. นำแผ่นแปะไฮโดรเจลแต่ละสูตร มาวางบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 33 องศาเซลเซียส รอให้อุณหภูมิของแผ่นแปะคงที่
2. วัดอุณหภูมิเริ่มต้นของแผ่นแปะไฮโดรเจลที่ยังไม่ได้นำไปประกบเข้ากับเกลือแคลเซียมคลอไรด์ จำนวน 5 ตำแหน่งด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด บันทึกค่าที่ได้เป็นนาทีที่ 0 จากนั้นหาออกมาเป็นค่าเฉลี่ย
3. นำถุงเกลือที่บรรจุเกลือแคลเซียมคลอไรด์ ประกบเข้ากับแผ่นแปะโดยหันด้านที่เป็นกระดาษมาสัมผัสกับแผ่นแปะไฮโดรเจล
4. วัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นแปะไฮโดรเจลทางด้านที่เป็นถุงเกลือทุกๆ 2 นาที จนครบ 40 นาที ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ในการวัดอุณหภูมิแต่ละครั้งจะทำการวัดอุณหภูมิจำนวน 5 ตำแหน่ง แล้วหาออกมาเป็นค่าเฉลี่ย

รูปที่ แสดงตำแหน่งของแผ่นไฮโดรเจลที่ทำการวัดอุณหภูมิ

5. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1–4 โดยเปลี่ยนจากถุงที่บรรจุเกลือแคลเซียมคลอไรด์ เป็นถุงที่บรรจุเกลือแอมโมเนียมไนเตรต
6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนสูตรตำรับแผ่นแปะไฮโดรเจลที่เตรียมไว้จนครบทุกสูตร