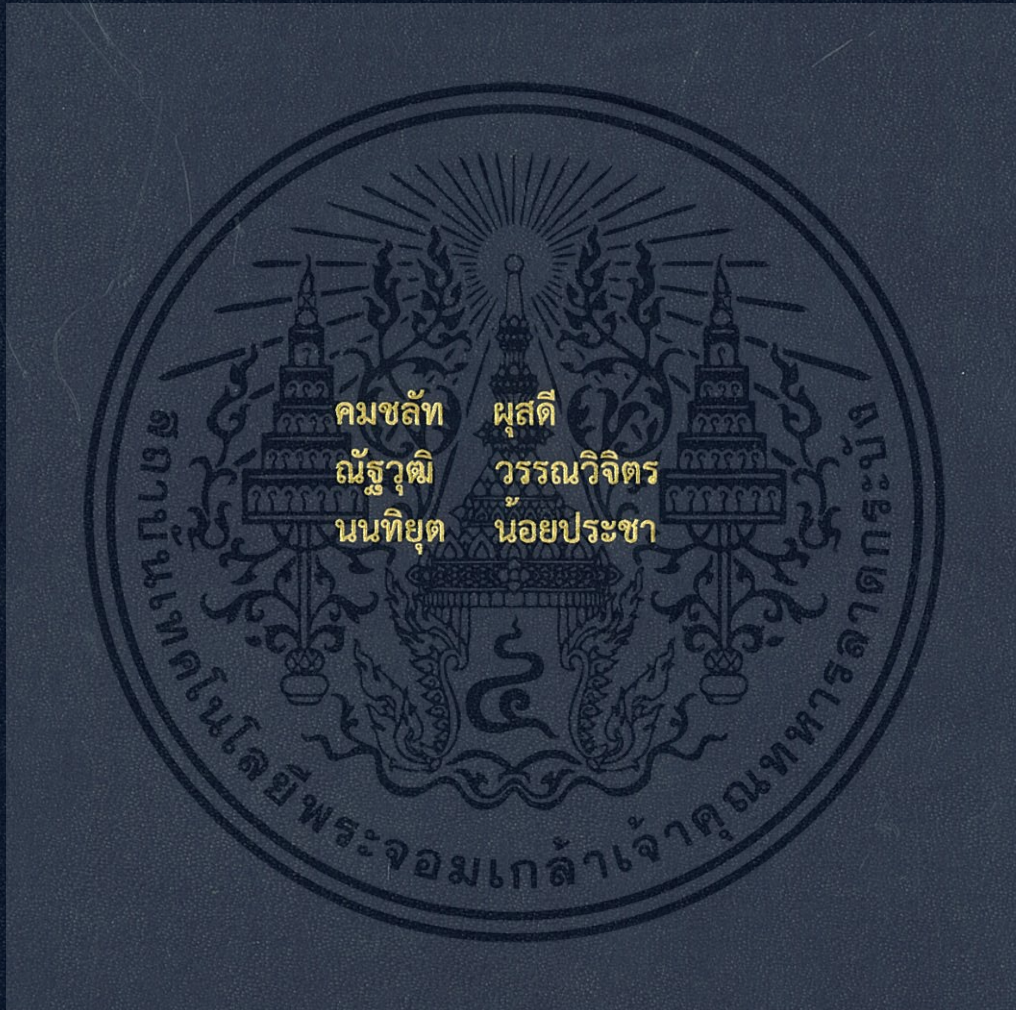


ผลของกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมนอสเตียเรท และแมกนีเซียม  
สเตียเรทต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้ง  
มันสำปะหลัง



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

ผลของกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียม  
สเตียเรทต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรชจากแป้ง  
มันสำปะหลัง



คมชลัท ผุสดี  
ณัฐวดี วรรณวิจิตร  
นนทียุต น้อยประชา

รฟว.  
๑/47 ๗

เลขหมู่... ๑๓๕๘

เลขทะเบียน... 149201

วันเดือนปี... ๒๓ ต.ค. ๒๕๖๑

๑๒๘๘๒๓๓๑

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา ๒๕๕๘

EFFECT OF STERIC ACID GLYCEROL MONOSTEARATE  
AND MAGNESIUM STEARATE FOR PROPERTIES OF  
THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ผลของกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียม สเตียเรทต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มันสำปะหลัง

EFFECT OF STERIC ACID GLYCEROL MONOSTEARATE AND MAGNESIUM STEARATE FOR PROPERTIES OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH

ชื่อนักศึกษา

นายคมชลัท ผุสดี รหัสนักศึกษา 55050588  
นายณัฐวุฒิ วรรณวิจิตร รหัสนักศึกษา 55050655  
นายนนทียุต น้อยประชา รหัสนักศึกษา 55050692

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี




ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญารากร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

| คณะกรรมการสอบ  | ลายมือชื่อ   |
|--|--|
| รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์<br>ประธานกรรมการ            |  |
| ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุสย<br>กรรมการ                    |  |
| รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญารากร<br>กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                    |  |              |          |
|--------------------|--|--------------|----------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | ผลของกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลัง |              |          |
| ชื่อนักศึกษา       | นายคมชลัท ฟูสดี  | รหัสนักศึกษา | 55050588 |
|                    | นายณัฐวุฒิ วรรณวิจิตร  | รหัสนักศึกษา | 55050655 |
|                    | นายนนทียุต น้อยประชา   | รหัสนักศึกษา | 55050692 |
| ปริญญา             | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)   |              |          |
| ภาควิชา            | เคมี   |              |          |
| คณะ                | วิทยาศาสตร์  |              |          |
| มหาวิทยาลัย        | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)  |              |          |
| ปีการศึกษา         | 2558   |              |          |
| อาจารย์ที่ปรึกษา   | รศ.ดร. จุฬารัตน์ ปรัชญาวรรการ  |              |          |

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และปรับปรุงสมบัติด้วยสารเติมแต่ง (Additives) 3 ชนิด ได้แก่ กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรท ในปริมาณต่างๆ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันจะพบพีคใหม่ที่  $1710\text{ cm}^{-1}$  และ  $1735\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่คาร์บอนิลเกิดจากการเติมกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทตามลำดับ จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมแต่งทำให้ได้เทอร์โมพลาสติกสตาarch ที่ไม่หลอมมากขึ้น และแมกนีเซียมสเตียเรททำให้แป้งหลอมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีที่สุด จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มลดลงและมอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทจากการศึกษาการดูดซับความชื้นพบว่า เมื่อเติมสารเติมแต่งให้แก่เทอร์โมพลาสติกสตาarch ช่วยลดการดูดซับความชื้นเล็กน้อย จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายโดยการฝังดินพบว่าสมบัติเชิงกลหลังการย่อยสลายด้วยการฝังดินมีแนวโน้มลดลง จากการวัดสีพบว่า การใช้สารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดทำให้ เทอร์โมพลาสติกสตาarch มีสีเหลือง จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่าแมกนีเซียมสเตียเรทช่วยเพิ่มอุณหภูมิการสลายตัวของ เทอร์โมพลาสติกสตาarch เล็กน้อย

**คำสำคัญ :** กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท แมกนีเซียมสเตียเรท กรดสเตียริก เทอร์โมพลาสติกสตาarch แป้งมันสำปะหลัง

|                      |  |            |          |
|----------------------|--|------------|----------|
| <b>Title</b>         | EFFECT OF STERIC ACID GLYCEROL MONOSTEARATE AND MAGNESIUM STEARATE ON PROPERTIES OF THERMOPLASTIC CASSAVA STARCH |            |          |
| <b>Students</b>      | Mr.Komecharat Pussadee   | Student ID | 55050588 |
|                      | Mr.Nutthawut Wannavijit  | Student ID | 55050655 |
|                      | Mr.Nontiyut Noi-pracha   | Student ID | 55050692 |
| <b>Degree</b>        | Bachelor of Science (Industrial Chemistry)   |            |          |
| <b>Department</b>    | Chemistry  |            |          |
| <b>Faculty</b>       | Science  |            |          |
| <b>University</b>    | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang(KMITL)   |            |          |
| <b>Academic Year</b> | 2015   |            |          |
| <b>Advisor</b>       | Assoc.Prof.Dr.Jutarat Prachyawarakorn  |            |          |

### Abstract

This research aimed to study properties of thermoplastic cassava starch (TPCS), improved by different contents of stearic acid, glycerol monostearate and magnesium stearate. Different TPCS polymers were compounded by an internal mixer and shaped by a compression molding machine. It was found from FTIR that a new peak position in the ranged of  $1700 - 1750 \text{ cm}^{-1}$ , assigned for  $\text{C}=\text{O}$  stretching, was observed when stearic acid and glycerol monostearate were added. From SEM micrograph, the incorporation of high content of stearic acid, glycerol monostearate and magnesium stearate increased more unmolten thermoplastic starch. Moreover, increasing stearic acid and glycerol monostearate caused lower strain at maximum load and higher Young's modulus. In addition, the TPCS polymers modified by stearic acid, glycerol monostearate and magnesium stearate showed a slight decrease in water uptake. After biodegradation test, all of the modified TPCS polymers presented the significant drop in mechanical properties. Furthermore, the color of all samples was in yellow shade and the magnesium stearate modified TPCS polymer represented the slight increase in thermal degradation temperature.

**Keywords :** Stearic acid, glycerol monostearate, magnesium stearate, thermoplastic starch, cassava starch

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่  
ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และการช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์ และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ ที่กรุณาเป็น  
กรรมการ ตลอดจนให้คำแนะนำเพื่อให้โครงการพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุตใจ สอนสะอาด ที่ได้ให้ความรู้ และ  
ข้อแนะนำดีๆ เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วง  
ไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้งผู้ที่ให้โอกาสต่อคณะผู้จัดทำ จนทำให้ประสบ  
ความสำเร็จในการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คมชลัท ผุสดี  
ณัฐวุฒิ วรณวิจิตร  
นนทียุต น้อยประชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|   | หน้า     |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                              | ก        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                           | ข        |
| กิตติกรรมประกาศ.....                              | ค        |
| สารบัญ.....                                       | ง        |
| สารบัญตาราง.....                                  | ช        |
| สารบัญรูป.....                                    | ฉ        |
| คำย่อ/สัญลักษณ์.....                              | ฎ        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>                          | <b>1</b> |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....             | 2        |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....                             | 3        |
| 1.3 ขอบเขต.....                                   | 3        |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....                      | 4        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b> | <b>5</b> |
| 2.1 แป้ง.....                                     | 5        |
| 2.1.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง.....                      | 5        |
| 2.1.1.1 อะไมโลส (Amylose).....                    | 6        |
| 2.1.1.2 อะไมโลเพกทิน (Amylopectin).....           | 7        |
| 2.1.2 ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง.....           | 9        |
| 2.1.2.1 ไขมัน.....                                | 10       |
| 2.1.2.2 ไนโตรเจน (โปรตีน).....                    | 11       |
| 2.1.2.3 เถ้า.....                                 | 11       |
| 2.1.2.4 ฟอสฟอรัส.....                             | 11       |
| 2.1.2.5 ความชื้น (Moisture).....                  | 11       |
| 2.1.3 โครงสร้างของเม็ดแป้ง.....                   | 12       |
| 2.1.4 สมบัติของแป้ง.....                          | 14       |
| 2.1.4.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย.....    | 14       |
| 2.1.4.2 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)..... | 15       |
| 2.1.4.3 ความหนืด (Viscosity).....                 | 16       |
| 2.1.4.4 การย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์.....           | 17       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

|  |    |
|--|----|
| 2.2 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch).....                        | 18 |
| 2.2.1 ประวัติความเป็นมาของมันสำปะหลัง .....                      | 18 |
| 2.2.2 ลักษณะรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง.....                       | 19 |
| 2.2.3 องค์ประกอบของมันสำปะหลัง.....                              | 20 |
| 2.2.4 ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง .....                           | 21 |
| 2.2.4.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ .....                                   | 21 |
| 2.2.4.2 อุตสาหกรรมไม้อัด.....                                    | 22 |
| 2.2.4.3 อุตสาหกรรมกระดาษ.....                                    | 22 |
| 2.2.4.4 อุตสาหกรรมกาว .....                                      | 22 |
| 2.2.4.5 อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม.....                       | 22 |
| 2.2.4.6 ซอสต่างๆ .....   | 23 |
| 2.2.4.7 ลูกกวาด .....  | 23 |
| 2.2.4.8 วัสดุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ .....                   | 23 |
| 2.3 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....                             | 24 |
| 2.3.1 วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ..... | 25 |
| 2.3.1.1 แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้.....              | 26 |
| 2.3.1.2 แหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม .....                            | 26 |
| 2.3.2 ประเภทของพลาสติกที่ย่อยสลายได้.....                        | 26 |
| 2.3.2.1 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ.....                            | 26 |
| 2.3.2.2 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....              | 27 |
| 2.3.2.3 พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง .....                          | 27 |
| 2.3.2.4 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....              | 27 |
| 2.3.3 การใช้ประโยชน์จากพลาสติกย่อยสลายได้.....                   | 28 |
| 2.3.3.1 งานทางการแพทย์ .....                                     | 28 |
| 2.3.3.2 สารเคลือบกระดาษ หรือ โฟม .....                           | 28 |
| 2.3.3.3 फिल्मคลุมดินและวัสดุสำหรับการเกษตร.....                  | 28 |
| 2.3.3.4 ถูสำหรับใส่ของ .....                                     | 29 |
| 2.3.3.5 फिल्म และถูสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร .....                    | 29 |
| 2.3.3.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค.....                            | 29 |
| 2.3.3.7 โฟมเม็ดกันกระแทก.....                                    | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.4     | พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers).....   | 30 |
| 2.4.1   | กลีเซอรอล (Glycerol) .....  | 30 |
| 2.5     | สารหล่อลื่น (Lubricants).....   | 31 |
| 2.5.1   | หน้าที่ของสารหล่อลื่น.....  | 31 |
| 2.5.2   | แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) .....   | 32 |
| 2.5.3   | กรดสเตียริก (Stearic acid).....   | 33 |
| 2.5.4   | กรีเซอรอลโมนอสเตียเรท (Glycerol monostearate) .....   | 34 |
| 2.6     | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 35 |
| บทที่ 3 | วิธีการดำเนินงานวิจัย.....  | 39 |
| 3.1     | สารเคมี.....  | 39 |
| 3.2     | เครื่องมือและอุปกรณ์.....   | 41 |
| 3.3     | วิธีการทดลอง.....   | 43 |
| 3.3.1   | การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้ง มันสาปะหลัง (TPCS).....  | 43 |
| 3.3.2   | การขึ้นรูป TPCS จากแป้งมันสาปะหลัง.....   | 44 |
| 3.4     | การทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....   | 45 |
| 3.4.1   | การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน.....   | 45 |
| 3.4.2   | สัณฐานวิทยา.....  | 45 |
| 3.4.3   | การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties).....   | 45 |
| 3.4.4   | ปริมาณการดูดซับน้ำ (Water absorption).....  | 47 |
| 3.4.5   | การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน.....  | 47 |
| 3.4.6   | การวัดสี (Color Measurement).....   | 48 |
| 3.4.7   | สมบัติทางความร้อน (Thermal properties).....   | 49 |
| บทที่ 4 | ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....  | 49 |
| 4.1     | การทดสอบหมู่ฟังก์ชัน.....   | 50 |
| 4.1.1   | การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติ<br>ด้วยกรดสเตียริกในปริมาณต่างๆ.....           | 51 |
| 4.1.2   | การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติ<br>ด้วยกลีเซอรอลโมนอสเตียเรทในปริมาณต่างๆ..... | 52 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  |    |
|--|----|
| 4.1.3 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติ<br>ด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ.....   | 53 |
| 4.2 สัณฐานวิทยา.....   | 54 |
| 4.2.1 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง.....  | 54 |
| 4.2.2 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง<br>โดยการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก.....           | 54 |
| 4.2.3 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง<br>โดยการปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท..... | 56 |
| 4.2.4 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง<br>โดยการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท.....    | 57 |
| 4.3 สมบัติเชิงกล.....  | 58 |
| 4.3.1 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วย<br>กรดสเตียริกในปริมาณต่างๆ.....                   | 58 |
| 4.3.2 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วย<br>กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทในปริมาณต่างๆ.....         | 59 |
| 4.3.3 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงด้วย<br>แมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ.....            | 60 |
| 4.4 การดูดซับความชื้น.....   | 61 |
| 4.5 การย่อยสลายโดยการฝังดิน.....   | 63 |
| 4.7 การวัดสี.....  | 69 |
| 4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน.....   | 74 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....   | 80 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....  | 80 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....  | 81 |
| เอกสารอ้างอิง .....  | 83 |
| ภาคผนวก.....   | 87 |
| ภาคผนวก ก.....   | 88 |
| ภาคผนวก ข.....   | 89 |
| ภาคผนวก ค.....   | 90 |
| ภาคผนวก ง.....   | 93 |
| ภาคผนวก จ.....   | 94 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลส.....   | 7    |
| 2.2 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเพกทิน.....  | 8    |
| 2.3 แสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพกทิน.....   | 9    |
| 2.4 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่างๆ.....  | 10   |
| 2.5 การกระจายขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง.....   | 20   |
| 2.6 ส่วนประกอบในหัวมัน.....  | 21   |
| 2.7 ส่วนประกอบในเนื้อมัน.....  | 21   |
| 2.8 ลักษณะเฉพาะระหว่างสารเติมแต่งภายในและสารเติมแต่งภายนอก.....  | 32   |
| 2.9 สมบัติของกรดสเตียริก.....  | 34   |
| 2.10 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท.....   | 35   |
| 3.1 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง.....  | 39   |
| 3.2 ข้อมูลทั่วไปของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glycerol monostearate).....  | 40   |
| 3.3 ข้อมูลทั่วไปของกรดสเตียริก (Stearic acid).....   | 40   |
| 3.4 ปริมาณของแป้งต่อกลีเซอรอลที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติก.....  | 43   |
| 3.5 ปริมาณในการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก.....  | 43   |
| 3.6 ปริมาณในการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท ..  | 44   |
| 3.7 ปริมาณในการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท.....   | 44   |
| 3.8 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....  | 45   |
| 4.1 สัญลักษณ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสูตรต่างๆ.....   | 49   |
| 4.2 หมู่ฟังก์ชันปรากฏในเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช.....   | 51   |
| 4.3 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก.....  | 69   |
| 4.4 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท.....  | 71   |
| 4.5 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท.....   | 73   |
| 4.6 อุณหภูมิละลายตัว (°C) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติก<br>และเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท<br>และแมกนีเซียมสเตียเรทที่ปริมาณต่าง..... | 78   |

# สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 รูปร่างและโครงสร้างของ Starch granule.....  | 5    |
| 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส.....  | 6    |
| 2.3 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน.....  | 7    |
| 2.4 แผนภาพโครงสร้างของลามีลาในเม็ดแป้ง.....   | 12   |
| 2.5 ลักษณะของผลึกแบบ A และแบบ B.....  | 13   |
| 2.6 X-Ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน.....   | 13   |
| 2.7 ลักษณะการพองตัวของเม็ดแป้ง.....   | 15   |
| 2.8 การคืนตัวของแป้ง.....   | 15   |
| 2.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน.....  | 17   |
| 2.10 ลักษณะของเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง.....  | 19   |
| 2.11 การกระจายขนาดของเม็ดแป้งจากแป้งมันสำปะหลัง.....  | 20   |
| 2.12 แผนผังแสดงประโยชน์ของมันสำปะหลัง.....  | 23   |
| 2.13 ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่บ่งบอกว่าเป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....   | 25   |
| 2.14 แหล่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.....   | 25   |
| 2.15 การนำพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ.....  | 30   |
| 2.16 โครงสร้างของกลีเซอรอล.....   | 31   |
| 2.17 โครงสร้างของแมกนีเซียมสเตียเรท.....  | 33   |
| 2.18 โครงสร้างของกรดสเตียริก.....   | 33   |
| 2.19 โครงสร้างของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท.....   | 35   |
| 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน.....  | 42   |
| 3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่ใช้ทดสอบ.....   | 46   |
| 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซจากแป้งมันสำปะหลัง<br>ที่ปรับปรุงด้วย กรดสเตียริกในปริมาณต่างๆ.....           | 51   |
| 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซจากแป้งมันสำปะหลัง<br>ที่ปรับปรุงด้วย กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทในปริมาณต่างๆ..... | 52   |
| 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซจากแป้งมันสำปะหลัง<br>ที่ปรับปรุงด้วย แมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ.....    | 53   |
| 4.4 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาอ์ซจากแป้งมันสำปะหลัง.....   | 54   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

|      |  |    |
|------|--|----|
| 4.5  | สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่มี<br>การปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกที่กำลังขยาย100 และ 1000 เท่า.....  | 55 |
| 4.6  | สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง<br>ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่กำลังขยาย100 และ 1000 เท่า.....                                  | 56 |
| 4.7  | สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลัง<br>ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทที่กำลังขยาย100 และ 1000 เท่า.....                                     | 57 |
| 4.8  | สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย<br>กรดสเตียริกในปริมาณต่างๆ .....   | 59 |
| 4.9  | สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย<br>กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทในปริมาณต่างๆ .....   | 60 |
| 4.10 | สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วย<br>แมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ.....   | 61 |
| 4.11 | เปอร์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วย<br>กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรท ที่ปริมาณต่างๆ .....                             | 62 |
| 4.12 | ชิ้นงานรูปดัมเบลล์ก่อนการย่อยสลายโดยการฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล<br>ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท<br>ที่ปริมาณต่างๆ.....               | 64 |
| 4.13 | ชิ้นงานรูปดัมเบลล์หลังการย่อยสลายโดยการฝังดินเป็นเวลา 5 วันของเทอร์โมพลาสติก<br>สตาโรลที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท<br>ที่ปริมาณต่างๆ..... | 65 |
| 4.14 | สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วย<br>กรดสเตียริกที่ปริมาณต่างๆ.....  | 66 |
| 4.15 | สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วย<br>กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ.....  | 67 |
| 4.16 | สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วย<br>แมกนีเซียมสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ.....   | 68 |
| 4.17 | เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลและเทอร์โมพลาสติกสตาโรล<br>ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก ปริมาณต่างๆ.....  | 75 |
| 4.18 | เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลและเทอร์โมพลาสติกสตาโรล<br>ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท ปริมาณต่างๆ.....  | 76 |

## 4.19 เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรและเทอร์โมพลาสติกสตาโร

ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ..... 77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย  |
|-----------------|---|
| TPS             | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช  |
| TPCS            | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง  |
| TPCS-S1         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตียริก 1 % โดยน้ำหนัก           |
| TPCS-S2         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตียริก 2 % โดยน้ำหนัก           |
| TPCS-S3         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตียริก 3 % โดยน้ำหนัก           |
| TPCS-S4         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตียริก 4 % โดยน้ำหนัก           |
| TPCS-S5         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตียริก 5 % โดยน้ำหนัก           |
| TPCS-G1         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสแตียเรท 1 % โดยน้ำหนัก |
| TPCS-G2         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสแตียเรท 2 % โดยน้ำหนัก |
| TPCS-G3         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสแตียเรท 3 % โดยน้ำหนัก |
| TPCS-G4         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสแตียเรท 4 % โดยน้ำหนัก |
| TPCS-G5         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสแตียเรท 5 % โดยน้ำหนัก |
| TPCS-M1         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสแตียเรท 1 % โดยน้ำหนัก    |
| TPCS-M2         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสแตียเรท 2 % โดยน้ำหนัก    |
| TPCS-M3         | เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสแตียเรท 3 % โดยน้ำหนัก    |

|         |  |
|---------|--|
| TPCS-M4 | เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท 4 % โดยน้ำหนัก |
| TPCS-M5 | เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท 5 % โดยน้ำหนัก |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันพลาสติกได้มีบทบาทสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากพลาสติกสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ราคาถูก น้ำหนักเบา มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทำให้พลาสติกถูกใช้อย่างแพร่หลายและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุอื่นถูกแทนที่ด้วยพลาสติกมากขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามถึงแม้พลาสติกจะมีประโยชน์แต่ก็มีข้อเสีย คือ พลาสติกผลิตมาจากทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน นอกจากนี้ ยังยากต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ พลาสติกที่ถูกทิ้งขยะในปัจจุบันจึงคงอยู่ในสภาพแวดล้อมซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางธรรมชาติ วิธีการกำจัดขยะพลาสติกที่ง่ายที่สุด คือ วิธีการฝังกลบซึ่งต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนานหลายร้อยปีจึงจะทำให้พลาสติกนั้นย่อยสลาย จึงนำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาโดยการใช้พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) ผลิตมาจากทรัพยากรทางธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable source) และสามารถเกิดการย่อยสลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติจึงเป็นแนวทางในการศึกษาพัฒนาวัสดุผลิตภัณฑ์สำหรับการใช้งานเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

พลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ หมายถึง พลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติ ส่วนใหญ่เป็นพืชสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (Biodegradable) ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมวัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิด เช่น เซลลูโลส คอลลาเจน แป้ง โปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด เป็นต้น และในบรรดาวัสดุธรรมชาติทั้งหลาย แป้ง นั้นว่าเหมาะสมที่สุดเพราะมีจำนวนมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถหาได้จากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น [1]

มันสำปะหลัง เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังเป็นอันดับที่ 3 ของโลกรองจากประเทศไนจีเรียและบราซิลนอกจากนั้นแล้ว ประเทศไทยยังเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับหนึ่งของโลก เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่ายมีปัญหาในการผลิตน้อยปรับตัวได้ดีในเกือบทุกสภาพพื้นที่แม้ดินจะไม่ดีปัญหาโรคแมลงมีน้อย การขุดเก็บเกี่ยวไม่ขึ้นกับฤดูกาลสามารถจะชะลอการเก็บเกี่ยวได้และทนต่อความแห้งแล้งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชไร่ชนิดอื่น โดยประเทศไทยมีการนำมันสำปะหลังมาผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังมากที่สุด [2] แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะ

เป็นผงสีขาว จับผิวสัมผัสของแป้งจะเนียนลื่นมือ เมื่อทำให้สุกจะเหลวเหนียวหนืด เมื่อพักให้เย็นจะมีลักษณะเหนียวคงตัว นิยมนำมาผสมอาหารที่ต้องการความเหนียวหนืดใสโดยหัวมันสำปะหลังสดจะมีแป้งเป็นองค์ประกอบประมาณ 20% แป้งมันสำปะหลังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติและสามารถทดแทนได้ ย่อยสลายได้ง่าย มีความบริสุทธิ์สูง ราคาถูก และมีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่เหมาะสมเฉพาะตัว จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการนำมาใช้ในการผลิตพลาสติกทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเลียม [3]

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) คือ พอลิเมอร์ที่สามารถอ่อนตัวและหลอมเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน แต่เมื่อทำให้เย็นลงก็จะสามารถแข็งตัวและคงรูปร่างได้ การนำแป้งมาใช้ในการผลิตพลาสติกมีข้อจำกัดคือโครงสร้างผลึกในแกรนูลของแป้งมีความแข็งแรงมาก แกรนูลแป้งโดยธรรมชาติไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก จึงไม่สามารถหลอมละลายได้ หากเราให้ความร้อนแก่แป้งที่ปราศจากความชื้น แทนที่จะหลอมเหลว แกรนูลแป้งจะเกิดการเผาไหม้และสลาย อย่างไรก็ตามหากมีการเติมกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) จะช่วยทำให้แกรนูลแป้งเกิดการหลอมละลายได้ภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและแรงกลได้สารที่เรียกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch, TPS) ที่ผลิตได้สามารถนำไปขึ้นรูปและใช้งานได้อย่างไรก็ตามพลาสติกที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ มีสมบัติเชิงกลต่ำและไม่ทนน้ำจะมีการดูดซึมน้ำและเกิดการบวมตัวเกิดขึ้นที่ชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช [4] งานวิจัยและพัฒนาส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงสมบัติทั้งสองด้านของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชให้ดีขึ้น เช่น การผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชกับพลาสติกสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ การผลิตคอมโพสิตที่มีเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชเป็นเมทริกซ์เพียงอย่างเดียวหรือร่วมกับพอลิเมอร์อื่น การดัดแปรแป้งด้วยกระบวนการทางเคมีและการพัฒนาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชอีกวิธีหนึ่งคือ การปรับปรุงโดยการเติมสารเติมแต่งเข้ามาผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เช่น กรด และ อนุพันธ์ของกรด

จากการศึกษาพบว่ามีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำกรดมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชซึ่งเป็นงานวิจัยของ V.C.R. Schmidt และคณะ โดยทำการศึกษาการป้องกันการดูดน้ำและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่มีกรดสเตียริก (Stearic acid) เป็นองค์ประกอบของสตาร์ชฟิล์มโดยนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำกลั่นทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกในความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15, และ 20 ตามลำดับ โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูป (Casting) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดสเตียริกเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึงและการดึงยืดมีค่าลดลง แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดและที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 พบว่าการละลายน้ำและการซึมผ่านของไอน้ำลดลง [34]

คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของ TPS ด้วยการผสมแป้งมันสำปะหลังกับ กรดสเตียริก (Stearic acid) กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glycerol monostearate) และ แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) ในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีกลีเซอรอลเป็น พลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลและการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตา์ช

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1 เพื่อเตรียม TPS จากแป้งมันสำปะหลังโดยมีกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นพลาสติกไซเซอร์ และปรับปรุงสมบัติโดยใช้กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรท
- 2 ศึกษาแนวทางการปรับปรุงสมบัติ TPS โดยใช้กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ
- 3 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของของ TPS จากแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1 เพื่อเตรียม TPS จากแป้งมันสำปะหลังซึ่งผสมกับกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทในอัตราส่วนการผสมต่างๆ
- 2 เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของ TPS
- 3 ศึกษาสมบัติต่างๆของ TPS จากแป้งมันสำปะหลังที่เตรียมได้ ดังนี้
  - 3.1 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Infrared-spectroscopy)
  - 3.2 สมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine)
  - 3.3 สันฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope)
  - 3.4 การดูดซับความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของวัสดุ  
(Thermogravimetric analysis)

3.6 ความสามารถในการย่อยสลายโดยการฝังดิน

3.7 การวัดสี

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 สามารถปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เตรียมได้จากแป้งมันสำปะหลังซึ่งผสมกับกรดสแตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรททำให้ชิ้นงานที่ได้มีสมบัติดีขึ้น
- 2 ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากโดยวัสดุที่เตรียมได้สามารถย่อยสลายได้ง่าย
- 3 สามารถนำวัสดุทางธรรมชาติมาทำให้เกิดประโยชน์ ส่งผลให้แป้งมันสำปะหลังมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น



## บทที่ 2

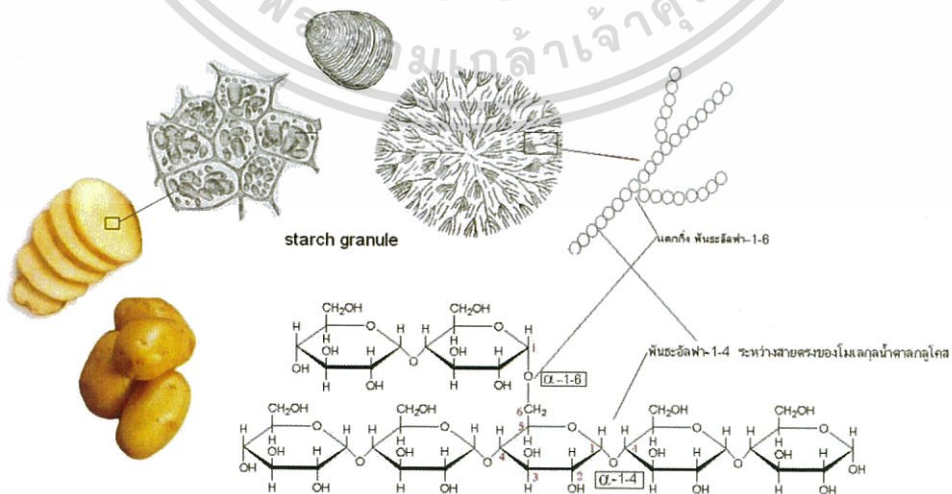
### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 แป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะ ของเม็ดแป้ง ชนิดต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิด ของแป้งนั้นๆ [6]

##### 2.1.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวน เรียกว่า Growth ring ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์หรือ Scanning electron microscopy เม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็น Growth ring ได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้น-พุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็น Growth ring ได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบ Growth ring สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวเจ้าจะสังเกตได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่าน ปฏิกิริยาเคมีหรือย้อมด้วยไอโอดีนและศึกษาด้วย SEM โครงสร้างของ Growth ring แสดงถึงลักษณะ การเจริญของเม็ดแป้งโดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญมาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (Hilum) ซึ่งส่วนนี้ ประกอบด้วยส่วน Reducing end ของโมเลกุลแป้ง มีด้าน Non-reducing end ของอะไมโลส และอะไมโลเพคตินแผ่กระจายออกไป จุดเชื่อมกิ่ง (Branch point) ของอะไมโลเพคตินอยู่ในส่วนสัณฐานและสายอยู่ในส่วนผลึก [7]



รูปที่ 2.1 รูปร่างและโครงสร้างของ Starch granule [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

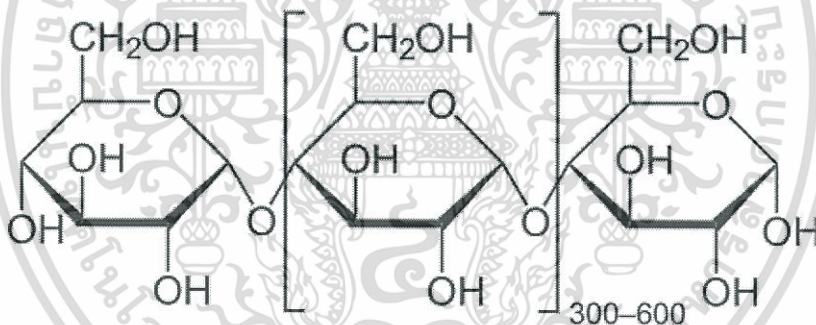
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 มีสูตรเคมีด้วยทั่วไป คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (Aldehyde group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (Reducing end group) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี [6]

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

1. อะไมโลส (Amylose)
2. อะไมโลเพกทิน (Amylopectin)

#### 2.1.1.1 อะไมโลส (Amylose)

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1,4 ( $\alpha$ -1,4) ดังภาพที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอะไมโลส [6]

แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะไมโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาขามีปริมาณอะไมโลสต่ำประมาณ 20% แป้งข้าวเหนียว (Waxy starch) ไม่มีอะไมโลสเลย แป้งแต่ละชนิดมีขนาดโมเลกุลหรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของอะไมโลสที่แตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลส ยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรดชัน (Retrogradation) ลดลง ในธรรมชาติอะไมโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลสของแป้งหลายๆชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์

อื่นๆเช่น บิวทานอล กรดไขมัน ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะละลายน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

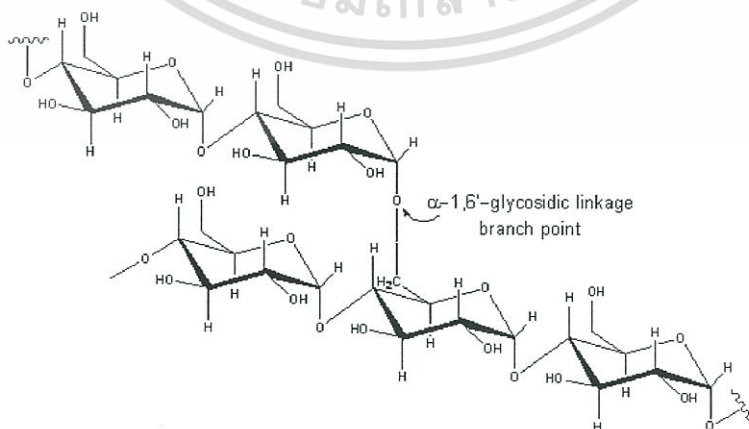
นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลส[6]

| แหล่งของแป้ง       | ปริมาณอะไมโลส (%) | $\beta$ -Amyloysis Limit (%) | ขนาดโมเลกุล (DP) เฉลี่ย | จำนวนสายเฉลี่ย (NC) | ความยาวสายเฉลี่ย (CL) | โมเลกุลกิ่ง (%) |
|--------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| แป้งสาลี           | 28                | 88                           | 1,300                   | 4.8                 | 270                   | 27              |
| แป้งข้าวโพด        | 298               | 82                           | 930                     | 2.7                 | 340                   | 44              |
| แป้งข้าวเจ้า       | 17                |                              |                         |                     |                       |                 |
| อินดิกา (indica)   |                   | 73                           | 1,000                   | 4.0                 | 250                   | 49              |
| จาโปนิก (Japonica) |                   | 81                           | 1,100                   | 3.4                 | 320                   | 31              |
| แป้งมันสำปะหลัง    | 17                | 75                           | 2,600                   | 7.6                 | 340                   | 42              |
| แป้งมันฝรั่ง       | 21                | 80                           | 4,900                   | 9.5                 | 240                   |                 |

### 2.1.1.2 อะไมโลเพกทิน

อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด  $\alpha$ -1,4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีขนาดโมเลกุล (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด  $\alpha$ -1,6 ดังภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด  $\alpha$ -1,6 มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วยโดยมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส

ลักษณะโครงสร้างอะไมโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ (Chain) 3 ชนิดคือ

1. สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (Unbranched structure)
2. สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกทินประกอบด้วยสาย A และ สาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1
3. สาย C (C-chain) เป็นสายแกนที่ประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพกทินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C 1 หมู่เท่านั้น

ความยาวของสายกิ่งอะไมโลเพกทินมีตั้งแต่ขนาดเล็กซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็กจนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 40-60 หน่วย [6]

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะไมโลเพกทิน [6]

| แหล่งแป้ง           | ปริมาณอะไมโลเพกทิน (%) | ขนาดโมเลกุล (DP) เฉลี่ย | ความยาวสายเฉลี่ย (CL) | จำนวนสายเฉลี่ย (NC) | ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย (ECL) | ความยาวสายภายในเฉลี่ย (ICL) |
|---------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| แป้งสาลี            | 72                     | 4,800                   | 19                    | 250                 | 13                           | 5                           |
| แป้งข้าวโพด         | 72                     | 8,200                   | 22                    | 370                 | 15                           | 6                           |
| แป้งข้าวเจ้า        | 83                     |                         |                       |                     |                              |                             |
| อินดิกา (Indica)    |                        | 4,700                   | 21                    | 220                 | 14                           | 6                           |
| จาโปนิกา (Japonica) |                        | 12,800                  | 19                    | 670                 | 13                           | 5                           |
| ข้าวเหนียว          |                        | 18,500                  | 18                    | 1,000               | 12                           | 5                           |
| แป้งมันฝรั่ง        | 79                     | 9,800                   | 24                    | 410                 | 15                           | 8                           |
| แป้งมันสำปะหลัง     | 83                     |                         |                       |                     |                              |                             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติที่แตกต่างกันระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพกทิน [7]

| อะไมโลส   | อะไมโลเพกทิน   |
|---|--|
| 1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ a-1,4 | 1. โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ a-1,4 และมี การแตกกิ่งด้วยพันธะ a-1,6 |
| 2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-6000 หน่วย                            | 2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย   |
| 3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า  | 3. ละลายน้ำได้ดีกว่า   |
| 4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย                           | 4. ข้นหนืดมากและใส   |
| 5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน                             | 5. ให้สีม่วงแดงหรือสีน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน                         |
| 6. ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้               | 6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง  |

### 2.1.2 ส่วนประกอบอื่นๆภายในเม็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่นๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1. ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง (Particulate material) ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลายและผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง
2. ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง (Surface material) ซึ่งสามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะไมโลพลาสต์
3. ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง (Internal components) สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งจะมีปริมาณที่แตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิดดังตารางที่ 2.5 [6]

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่างๆ [7]

| ชนิดแป้ง                 | ความชื้น65%<br>RH, 20°C | % ไขมัน     | %โปรตีน     | % เถ้า | % ฟอสฟอรัส  |
|--------------------------|-------------------------|-------------|-------------|--------|-------------|
| แป้งข้าวโพด              | 13                      | 0.6         | 0.35        | 0.1    | 0.015       |
| แป้งมันฝรั่ง             | 19                      | 0.05        | 0.06        | 0.4    | 0.08        |
| แป้งสาลี                 | 14                      | 0.8         | 0.4         | 0.15   | 0.06        |
| แป้งมัน<br>สำปะหลัง      | 13                      | 0.1         | 0.1         | 0.2    | 0.01        |
| แป้งข้าวโพด<br>เหนียว    | 13                      | 0.2         | 0.5         | 0.07   | 0.007       |
| แป้งข้างฟ่าง             | 13                      | 0.7         | 0.3         | 0.08   | ไม่มีรายงาน |
| แป้งข้าวเจ้า             | ไม่มีรายงาน             | 0.8         | 0.45        | 0.5    | 0.1         |
| แป้งสาकु                 | ไม่มีรายงาน             | 0.1         | 0.1         | 0.2    | 0.02        |
| แป้งข้าวโพดอะมิ<br>โลเมส | 13                      | 0.4         | ไม่มีรายงาน | 0.2    | 0.07        |
| แป้งมันเทศ               | 13                      | ไม่มีรายงาน | ไม่มีรายงาน | 0.1    | ไม่มีรายงาน |

### 2.1.2.1 ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่า 1% ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความเหนียวของแป้ง ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้งโดยสกัดตัวทำละลายหรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) กลูโคลิพิด (Glucolipids) ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) และไขมันที่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง สำหรับแป้งจากธัญพืช ไขมันที่รวมตัวอยู่ในเม็ดแป้งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้งเมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียกหรือเพสต์ (Paste) ไขมันจะรวมตัวกับอะไมโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย (Inert complex) ทำให้ฟิล์มและแป้งเปียกมีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะไมโลสไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ [6]

### 2.1.2.2 ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1% โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาทีไนซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป

### 2.1.2.3 เถ้า

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โปแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผ้าไหม้โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง

### 2.1.2.4 ฟอสฟอรัส

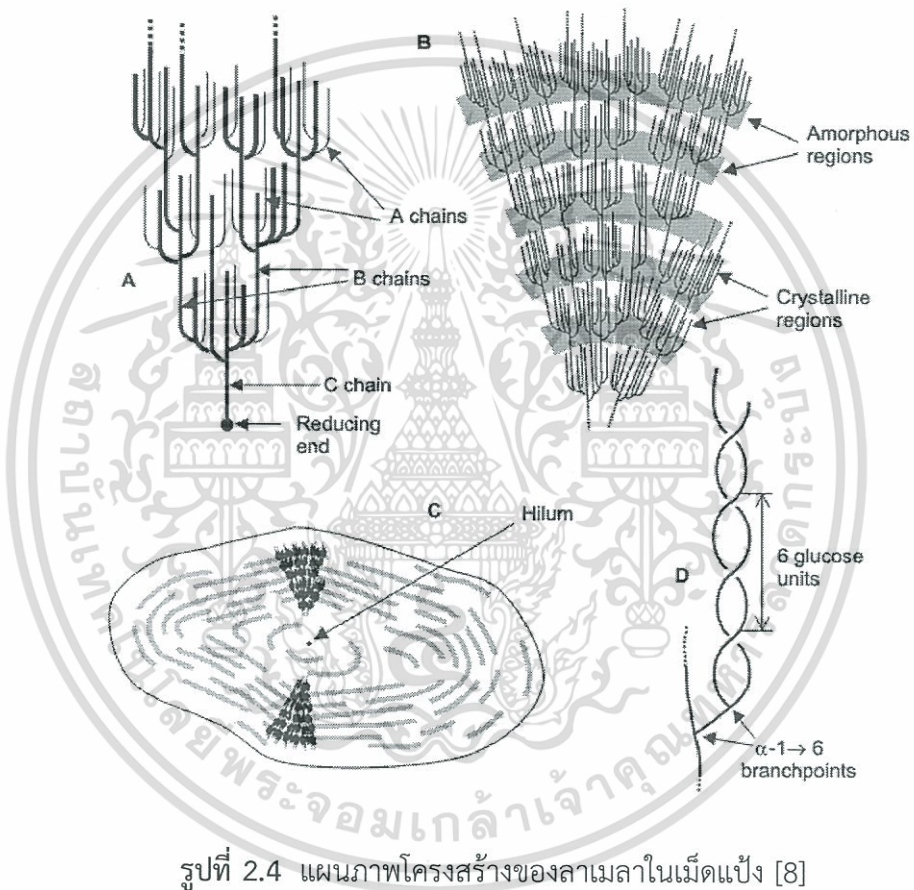
แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่า 0.1% โดยแป้งธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูปฟอสโฟลิพิด (Phospholipid) ประมาณ 0.02 ถึง 0.06% และแป้งจากพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่ง มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสประมาณ 0.3-0.6% ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่ง 3 และ 6 ( $C_3$  และ  $C_6$ ) ของหน่วยกลูโคส

### 2.1.2.5 ความชื้น (Moisture)

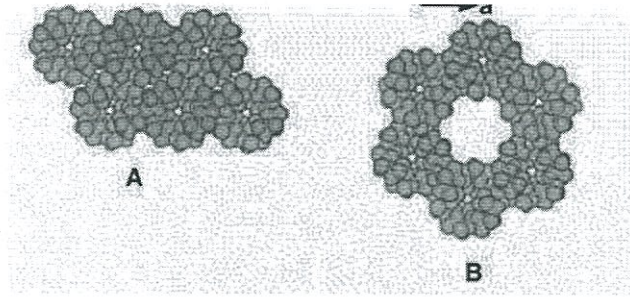
ปริมาณความชื้นของแป้ง ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity;RH) ของอากาศขณะเก็บผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ แป้งจะมีความชื้นต่ำด้วย ถ้าความชื้นสูงเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้มาก ปริมาณความชื้นที่สมดุล (Equilibrium moisture content) ของแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งภายใต้สภาวะอากาศปกติซึ่งโดยทั่วไปแป้งจะมีความชื้น 10-20%

### 2.1.3 โครงสร้างของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมีโครงสร้างแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) โดยลักษณะความเป็นผลึก เป็นผลจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่ในโมเลกุลของอะไมโลเพคติน ในแนวรัศมีเป็นชั้นๆ ในรูปของคลัสเตอร์ (Series of stacked amylopectin cluster) ซึ่งในแต่ละคลัสเตอร์ ประกอบด้วยบริเวณที่เป็นส่วนรวมของจุดที่แตกกิ่งมีลักษณะการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเรียกว่า Amorphous lamellar และบริเวณที่มีสายโซ่กิ่งของอะไมโลเพคตินที่จัดเรียงแบบเกลียวคู่ ที่มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกบริเวณส่วนนี้ว่า Crystalline lamellar ดังรูปที่ 2.4

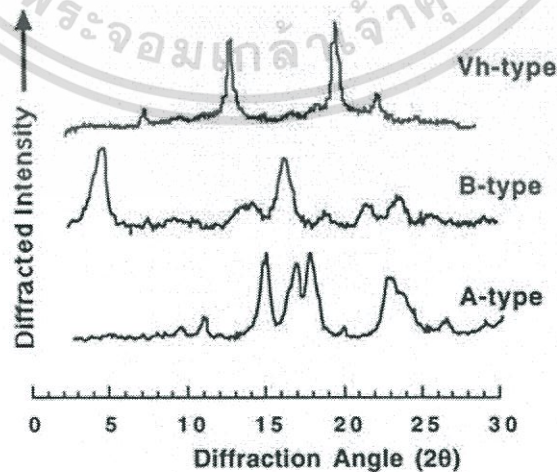


เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับลักษณะในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้ามีการเรียงตัวหนาแน่นมากและมีปริมาณน้ำต่ำจะจัดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่างๆ) ถ้ามีการเรียงตัวกันหลวมๆ และมีปริมาณน้ำสูงจะจัดเป็นผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของผลึกแบบ A และแบบ B [7]

โครงสร้างของผลึกที่แตกต่างกันทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิค Wild Angle X-ray diffraction (WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันให้รูปแบบของ X-Ray diffraction ที่แตกต่างกันดังรูปที่ 2.6 แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A ให้พีคที่  $17^{\circ}$  และ  $18^{\circ}$  และพีคเดี่ยวที่  $23^{\circ}$  แต่ไม่มีพีคที่  $5.6^{\circ}$  แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเจ้า มีลักษณะผลึกแบบ A ส่วนแป้งที่มีลักษณะผลึกแบบ B จะให้พีคที่  $5.6^{\circ}$  และ  $17^{\circ}$  แต่ไม่มีพีคที่  $18^{\circ}$  และมีพีคคู่ (Doublet) ที่  $22^{\circ}$  และ  $24^{\circ}$  ซึ่งได้แก่แป้งจากพืชหัวและแป้งที่มีอะไมโลสสูง เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C ให้ลักษณะร่วมระหว่างผลึกแบบ A และ B มีพีคที่  $5.6^{\circ}$  และ  $17.9^{\circ}$  ตัวอย่างเช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว ราก ลำต้นและแป้งผลไม้บางชนิด แป้งบางชนิดอาจให้ลักษณะผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น แป้งมัน-สำปะหลังซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A และ C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับกาปฏิบัติ (Treatment) ต่อเม็ดแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่งซึ่งที่ถูกบ่มไว้นานที่อุณหภูมิสูง ( $110^{\circ}\text{C}$ , 30 นาที : Heat moisture treatment) มีชนิดของผลึกเปลี่ยนไปจากเดิมชนิด B ไปเป็นชนิด A [1] ลักษณะโครงสร้างและปริมาณผลึกของแป้งดังแสดงในรูป 2.6



รูปที่ 2.6 X-Ray diffraction ของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.4 สมบัติของแป้ง

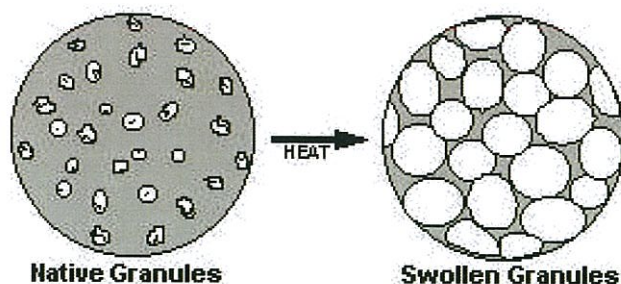
### 2.1.4.1 การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศจะมีความชื้น 10 ถึง 17% จากการทดลองของ Leach (1965) พบว่าแป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดเหนียว สามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณ 39.9, 42.9, 50.9 และ 51.4 กรัมต่อน้ำหนักแป้ง 100 กรัม ตามลำดับ

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (Bound water) และน้ำในรูปอิสระ (Free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 10% สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่ง 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้ง จะได้สแตร์ชไมโนไฮเดรต [ $n(C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O)$ ]

น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหไมเซลล์ (Micelles) ในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ ทดสอบได้จากการแขวนลอยของเม็ดแป้งในสารละลายไอโอดีนเจือจาง จะเกิดสีขึ้นในเม็ดแป้ง เมื่อใส่โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulphate) ลงไปพบว่าสีจะหายไปอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเม็ดแป้งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวคัดขนาดโมเลกุล (Molecular sieve) รูพรุนเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำให้แห้งในกระบวนการผลิตแป้ง หรืออาจจะมิได้อยู่แล้วในแป้งธรรมชาติแต่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้ง [6]

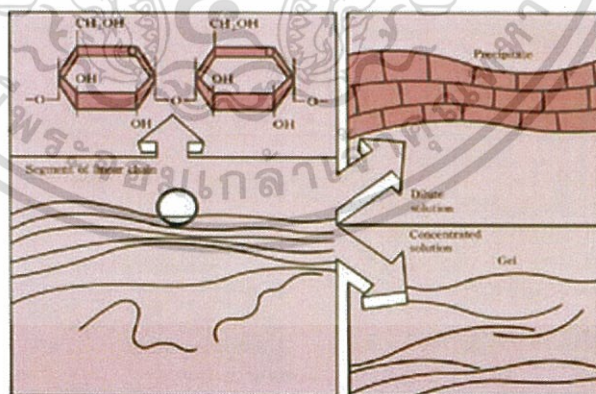
แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลาทีไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืด ความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติการบิดในระนาบของแสง (Bifringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไป ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการตัดแปรแป้งทางเคมี [6]



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการพองตัวของเม็ดแป้ง [7]

#### 2.1.4.2 การคืนตัวของแป้งสุก (Retrogradation)

การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดต่ำลงขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะไมโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (ดังรูปที่ 2.8) ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลมาเป็นส่วนที่เป็น Crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มากจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม [7]



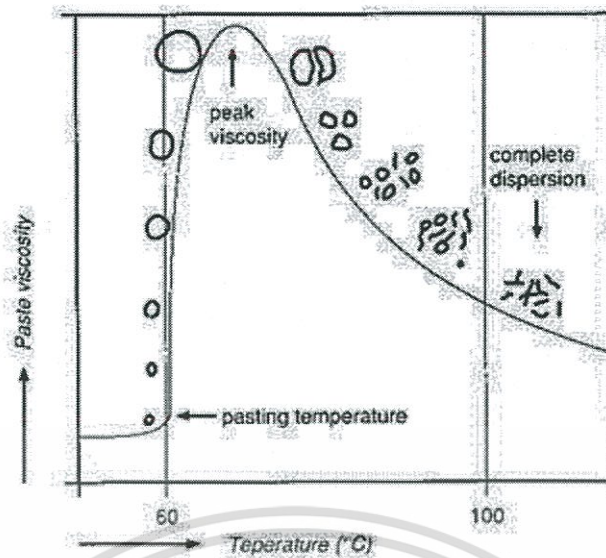
รูปที่ 2.8 การคืนตัวของแป้ง [9]

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากราก หัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากราก หัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว เอกสารและเม็ดแป้งแต่ก่ายทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้งยากที่โมเลกุลอะไมโลสจะมาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดเรียงตัวกันได้ใหม่ แต่แบ่งจากอัญพีซ เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกันจึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะไมโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น Matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะไมโลเพกตินอยู่ด้วยทำให้อัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะเกาะยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท Waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วย โมเลกุลอะไมโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1,000-6,000 หน่วยกลูโคส จะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (Brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน [7]

#### 2.1.4.3 ความหนืด (Viscosity)

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น (รูปที่ 2.9) พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า Pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้งและการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง [6]



รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมื่อให้ความร้อน [10]

เมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะไมโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า Setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (Retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทิน อุณหภูมิ Shear rate ฯลฯ แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ชนิดของแป้ง [6]

#### 2.1.4.4 การย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์

แป้งเป็นอาหารหลักของมนุษย์และสัตว์ซึ่งได้จากการบริโภคส่วน ราก ลำต้น และหัวของพืช ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ โดยโมเลกุลของแป้งเกิดจากการเชื่อมต่อกันของกลูโคสด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,4 และ  $\alpha$ -1,6-กลูโคซิดิกดั่งที่ได้กล่าวมาแล้ว แป้งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานของมนุษย์ โดยมีเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (  $\alpha$ -amylase และ  $\alpha$ -glucosidase ) ซึ่งเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพันธะ  $\alpha$ -1,4-กลูโคซิดิกของแป้ง ทำหน้าที่หลักในการย่อยแป้ง การย่อยแป้งจะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์เพียงใดและได้ผลิตภัณฑ์อะไรนั้น ขึ้นอยู่กับความจำเพาะของเอนไซม์ ในระบบการย่อยอาหารแป้งจะเริ่มถูกย่อยในปากซึ่งมี pH ในช่วง 6.2-7.4 โดยเอนไซม์  $\alpha$ -amylase จากนั้นจะผ่านกระเพาะอาหารและเข้าสู่ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ซึ่งมี pH ในช่วง 7-8 แป้งจะเริ่มถูกย่อยอีกครั้งหนึ่งด้วยเอนไซม์  $\alpha$ -amylase ที่ผลิตจากตับอ่อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยคือ Dextrin, Maltotriose, Maltose และ Glucose ไดแซคคาไรด์และโอลิโกแซคคาไรด์จะถูกย่อยต่อด้วยเอนไซม์  $\alpha$ -glucosidase ที่อยู่บนเยื่อปริซอร์เตอร์ ซึ่งจะตัดกลูโคสครั้งละหนึ่งหน่วยโดยเริ่มจากปลาย Non-reducing เข้าไป ส่วนแป้งที่ยังเหลืออยู่ จะผ่านลงไปที่ปลายของลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ซึ่งอาจจะถูก

เอนไซม์ย่อยสลายต่อด้วยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลำไส้ [6] การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch)

### 2.2.1 ประวัติความเป็นมาของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือ ทาปิโอก้า (Tapioca) ประเทศแถบแอฟริกา เรียกชื่อ ภาษาฝรั่งเศส ว่า แมนนิอค (Manioc) มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัสและบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกส และสเปน นำมันสำปะหลังจากเม็กซิโก มายังฟิลิปปินส์ ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนีเซีย ประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 18

นักวิทยาศาสตร์ได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

|          |                              |
|----------|------------------------------|
| ORDER    | : GERANIALES OR EUPHORBIALES |
| CLASS    | : DICOTYLEDONEA              |
| SUBCLASS | : ARCHICHLAMYDEAE            |
| FAMILY   | : EUPHORBIACEAE              |
| TRIBE    | : MANIHOTEAE                 |
| GENUS    | : MANIHOT                    |
| SPECIES  | : ESCULENTA                  |

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นมีอายุอยู่ได้หลายปี การปลูกมันสำปะหลังจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักไปในดิน ตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นรากฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือนรากจะค่อยๆ สะสมแป้ง และมีขนาดโตขึ้น เรียกว่าหัวมันสำปะหลัง และสามารถเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังเมื่อ 6 เดือนผ่านไปแล้วโดยจะยืตอายุเก็บเกี่ยวไปได้ถึง 16 เดือน โดยส่วนตาที่อยู่ด้านข้างท่อนมันจะเจริญเติบโตออกมาเป็นลำต้นต่อไป [6]

แป้งมันสำปะหลัง (Cassava Starch) ทำมาจากหัวมันสำปะหลัง มีลักษณะเป็นผงสีขาว จับผิวสัมผัสของแป้งจะเนียนลื่นมือ เมื่อทำให้สุกจะเหลวเหนียวหนืด เมื่อพักให้เย็นจะมีลักษณะเหนียวคงตัว นิยมนำมาผสมอาหารที่ต้องการความเหนียวหนืดใส หัวมันสำปะหลังสดมีแป้งเป็นองค์ประกอบประมาณ 20% แป้งมันสำปะหลังที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังและไม่มีการเปลี่ยนรูป เรียกว่าแป้งดิบ (Tapioca Starch หรือ Native Starch) โดยแป้งดิบสามารถนำมาใช้เป็นอาหารมนุษย์ เครื่องปรุงอาหารหลายชนิด ทำวุ้น ทำเปียร์ และใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นตัวทำให้สารติดแน่น คงรูปร่าง ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมซักรีด อุตสาหกรรมทำกระดาษ แป้งเปียก แอลกอฮอล์ อะซีโตน ยา กลูโคส และแป้งแปรรูป โดยสามารถแบ่งได้ตามการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ

1. แป้งดิบหรือแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native Starch) เป็นแป้งที่ได้จากหัวมันสดด้วยกระบวนการแยกกากโปรตีน เป็นต้น
2. แป้งมันสำปะหลังแปรรูป (Modified Starch) คือแป้งซึ่งได้จากการนำแป้งมันสำปะหลังดิบมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีหรือฟิสิกส์เพื่อนเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ [11]

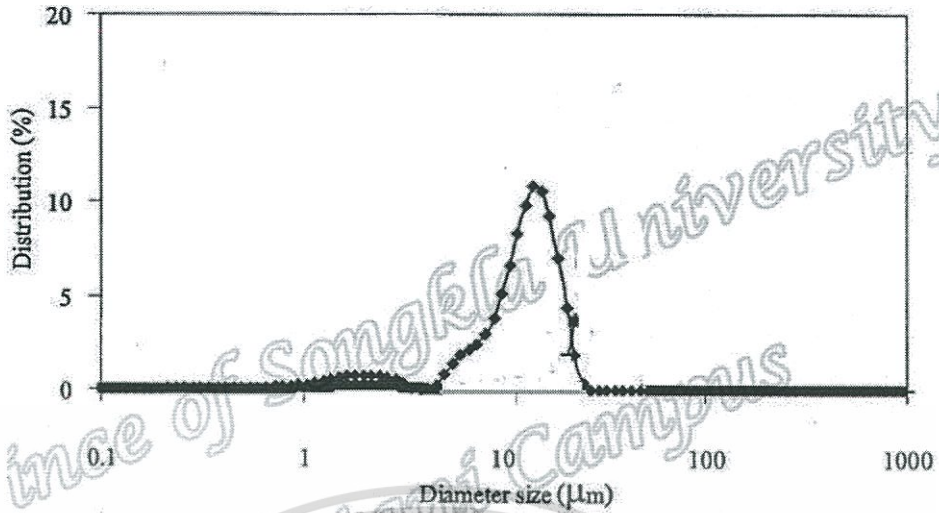
### 2.2.2 ลักษณะรูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง

ผลการวิเคราะห์รูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่าที่ความต่างศักย์เท่ากับ 10 kV พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะรูปร่างกลมส่วนปลายด้านหนึ่งจะมีลักษณะเว้าหรือคล้ายรอยตัด [12]



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง [12]

จากการวิเคราะห์และการกระจายขนาดของเม็ดแป้ง (รูปที่ 2.10) พบว่าเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงระหว่าง 0.044-27.39 ไมครอน โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 12.93 ไมครอน ซึ่งแป้งมันสำปะหลังมีการกระจายขนาดของอนุภาคเม็ดแป้งในช่วง 1-10 ไมครอน เท่ากับ 24.64% และช่วง 10-27.39 ไมครอน เท่ากับ 73.30%



รูปที่ 2.11 แสดงการกระจายขนาดของเม็ดแป้งจากแป้งมันสำปะหลัง [12]

ตารางที่ 2.5 การกระจายขนาดอนุภาคของเม็ดแป้งดิบของแป้งมันสำปะหลัง[12]

| Starch type    | Ranges of granule size (µm) | Granule size in average (µm) | Distribution of starch granule (%) |         |        |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------|--------|
|                |                             |                              | <1 µm                              | 1-10 µm | >10 µm |
| Cassava starch | 0.044-27.39                 | 12.93±5.591                  | 2.06                               | 24.64   | 73.30  |

2.2.3 องค์ประกอบของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจากใบและส่วนที่เป็นสีเขียวแล้วจะสะสมในรูปคาร์โบไฮเดรต คือ แป้งไว้ในราก ความสามารถในการสร้างและสะสมแป้งในรากมีความแตกต่างกันบ้าง เนื่องจากจากพันธุ์ของมันสำปะหลัง อายุเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนในช่วงแรกก่อนการเก็บเกี่ยว และปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมัน อาจจะแตกต่างกันไป โดยทั่วไปหัวมันสละหลังที่มีอายุ 12 เดือน ที่ได้รับปริมาณน้ำฝนเพียงพอ และไม่มีฝนตกชุกขณะเก็บเกี่ยวจะมีส่วนประกอบดังแสดงได้จากตารางที่ 2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบในหัวมัน [13]

| องค์ประกอบในหัวมัน | ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักหัวมัน) |
|--------------------|------------------------------------|
| น้ำ                | 60.21-75.32                        |
| เปลือก             | 4.08-14.08                         |
| เนื้อ (แป้ง)       | 25.87-41.88                        |
| ไซยาไนด์ (ppm)     | 2.85-39.27                         |

ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบในเนื้อมัน [13]

| องค์ประกอบในเนื้อมัน      | ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งเนื้อมัน) |
|---------------------------|--|
| แป้ง                      | 71.9-85.0                                |
| โปรตีน                    | 1.57-5.78                                |
| เส้นใย                    | 1.77-3.98                                |
| เถ้า                      | 1.20-2.80                                |
| ไขมัน                     | 0.06-0.43                                |
| คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง | 3.59-8.66                                |

จะเห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในรากนั้น นอกจากน้ำแล้วคือแป้ง ซึ่งมีถึงร้อยละ 70-80 จึงถือว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานกับคนและสัตว์ได้ดีที่สุด โดยปกติหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูง ปริมาณน้ำจะน้อยและความหนาแน่นของหัวจะมีสูง ฉะนั้นในการตรวจสอบหรือวัดปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) อย่างเร็วที่นิยมทำกันคือ การตรวจสอบความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักหัวมันในน้ำ ถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำน้อยก็แสดงว่า หัวมันมีปริมาณน้ำมากและมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกันถ้าน้ำหนักหัวมันในน้ำมากก็แสดงว่า หัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก

## 2.2.4 ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง

### 2.2.4.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นจะต้องใช้แป้งมันสำปะหลังด้วย โดยด้ายที่จะใช้ ทอผ้านั้น จะต้องผ่านการชุบแป้งเสียก่อนด้ายจึงจะลื่นและเรียบไม่มีขน และเป็นตัวหล่อลื่นไม่ให้เส้นด้ายติดกันระหว่างการเคลื่อนที่ของทอผ้า นอก จากนี้ในขั้นตอนการพิมพ์ลายผ้า แป้งจะช่วยทำให้พิมพ์ลายได้สม่ำเสมอ การใช้แป้งมันสำปะหลังในการทอผ้านั้น บางโรงงานยังใช้แป้งเคมี (Modified starch) ที่สั่งเข้ามาจากต่างประเทศ เพราะคุณสมบัติเหมาะสมกว่า แต่อย่างไรก็ตามมีโรงงานในประเทศที่เริ่มผลิตแป้งเคมีจากแป้งมันสำปะหลัง ขึ้นแล้ว [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4.2 อุตสาหกรรมไม้อัด

แป้งมันสำปะหลังถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด เนื่องจากลักษณะการผลิตไม้อัด คือ การนำไม้มาประกบติดกันโดยใช้กาว ซึ่งแป้งมันก็ถูกนำมาเป็นส่วนผสมในการทำกาว เพราะแป้ง มันมีคุณสมบัติเป็นกาวอยู่แล้ว เพื่อให้ไม้อัดติดกันเป็นแผ่นหนาแข็งแรงและทนทาน นอกจากนี้การ ใช้แป้งเป็นส่วนผสมยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตกาว เพราะ กาวที่ผลิตได้นั้น ใช้แป้งเป็นส่วนผสม ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแป้งมันสำปะหลังยังมีคุณสมบัติพิเศษกว่าแป้งประเภทอื่น ๆ คือ เนื้อแป้งมี ความละเอียด ทำให้ไม่มีการตกตะกอน เมื่อนำมาใช้ผสมทำกาว นอกจากนี้ราคายังถูกกว่าด้วย [11]

### 2.2.4.3 อุตสาหกรรมกระดาษ

การทำกระดาษนั้นต้องใช้เยื่อกระดาษที่ทำจากไม้ต่าง ๆ เช่น ไม้สน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น ทำให้เป็นเยื่อเล็ก ๆ แล้วนำเยื่อกระดาษเหล่านั้นมาเรียงเป็นแผ่น อย่งไรก็ตามแผ่น กระดาษจะไม่เรียบ จะต้องมีการฉาบผิวด้วยการจากแป้งทำให้กระดาษเรียบ และยังเข้าไปอยู่ตามรู ของใยกระดาษ ช่วยทำให้กระดาษไม่ซึมหมึก เวลาเขียนด้วยน้ำหมึก หรือพิมพ์สี นอกจากนี้ กาวจากแป้งยังช่วยทำให้กระดาษเหนียวยิ่งขึ้น [11]

### 2.2.4.4 อุตสาหกรรมกาว

แป้งมันมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อถูกความร้อน หรือถูกสารเคมีจะมีความเหนียว และมีคุณสมบัติสามารถรักษา สภาพความเหนียวได้เหมือนเดิมไม่มีการคืนตัว แป้งมันที่จะใช้ทำกาวจะ ต้องเป็นแป้งบริสุทธิ์ มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งก็คือ แป้งประเภทเด็กซ์ทริน กาวเหล่านี้ส่วนใหญ่จะ นำไปใช้ในการผลิตของจดหมาย สติกเกอร์ Gummed paper และ Gummed tape [11]

### 2.2.4.5 อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม

คุณสมบัติสำคัญของแป้ง คือ เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต แต่ยังมีคุณสมบัติ อื่นที่ทำให้แป้งมันสำปะหลังเข้ามามีบทบาทสำคัญใน อุตสาหกรรมอาหารนั้น คือ เป็นตัวช่วยทำให้เกิดความข้น (Thickmer) ในอาหาร ช่วยให้อาหารเกิดความคงตัว (Stabilizer) ช่วยให้อาหารเกาะตัวกันดีขึ้น (Binder) และช่วยในการเสริมแต่ง (Filler) นอกจากนี้ แป้งยังเป็นสิ่งที่ทำได้ง่าย และราคาค่อนข้างถูก (Glucose) เด็กซ์โตรส (Dextrose) อาหารเด็ก ผลิตภัณฑ์ขนมปัง ขนมหวานสำเร็จรูปไส้ขนมพาย อาหารกระป๋อง บะหมี่ เครื่องดื่ม ไอศกรีม แยม ผลไม้กระป๋อง นมเปรี้ยว ไส้กรอก กุนเชียง ซอส และ โซดาทำขนม เป็นต้น [11]

### 2.2.4.6 ซอสต่างๆ

เช่น ซอสมะเขือเทศ อาหารกระป๋อง ใช้แป้งเพื่อเพิ่มความเข้มข้น ไม่ให้อาหาร หรือซอส ตกตะกอน โดยจะใช้แป้งเป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 3 – 4 ของน้ำหนักอาหารแป้งที่ ใช้เป็นแป้ง แปรรูปประเภท Cross – linked starch และ Hydroxypropylated starch [11]

### 2.2.4.7 ลูกกวาด

ใช้แป้งแปรรูปประเภท Hydroxypropylated starch เพื่อให้ลูกกวาดมีความแข็ง [11]

### 2.2.4.8 วัสดุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

นำแป้งมันสำปะหลังมาแปรรูปกลายเป็นพลาสติก ซึ่งเมื่อเติมสารโพลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ ตามธรรมชาติ ก็จะทำให้เกิดเป็นสารผสม ที่สามารถนำไปทำเป็นวัสดุภัณฑ์เพื่อใช้ทดแทน พลาสติก [11]



รูปที่ 2.12 แผนผังแสดงประโยชน์ของแป้งมันสำปะหลัง [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) คือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้เปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้เฉพาะ ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียสมบัติบางประการสามารถวัดการย่อยสลายโดยใช้วิธีการทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับพลาสติก ผลการทดสอบสามารถนำระบุชนิดและประเภทพลาสติกย่อยสลายได้ องค์กรในหลายประเทศได้ดำเนินการจัดทำมาตรฐานวิธีการทดสอบและรับรองการย่อยสลายได้ชีวภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น

- ASTM D6400-99 - พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้เนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น แบคทีเรีย ราและสาหร่าย
- ISO 472:1998 - พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ถูกออกแบบมาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ เป็นสาเหตุทำให้สมบัติต่างๆ ของพลาสติกลดลงภายในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้วิธีทดสอบมาตรฐานที่เหมาะสมกับชนิดของพลาสติกและการใช้งาน ผลการทดสอบสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีดังกล่าวต้องเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในธรรมชาติเท่านั้น
- BPS Japan (1994) - พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ วัสดุพอลิเมอร์ ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลงได้ โดยมีอย่างน้อย 1 ขั้นตอนในกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ
- DIN FNK103.2 (1993) - วัสดุพลาสติกจะได้อ้างว่าเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ก็ต่อเมื่อสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ ที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อม และมีอัตราการย่อยสลายอยู่ภายใต้ข้อกำหนดในการทดสอบตามมาตรฐาน
- CEN (1993) - วัสดุย่อยสลายได้ คือ วัสดุที่การย่อยสลายเป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ หรือ แก๊สมีเทน และมวลชีวภาพใหม่ เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย ฯลฯ

การทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยทั่วไปมักใช้เวลาในการทดสอบ 6 เดือน เช่นมาตรฐาน ASTM 5338 กำหนดไว้ว่าพลาสติกประกอบด้วยพอลิเมอร์ 1 ชนิด จะต้องเกิดการย่อยสลายอย่างน้อย 60% โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารประกอบอินทรีย์ สารชีวมวล ภายใต้การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนภายในเวลา 6 เดือน และสำหรับพอลิเมอร์ผสมต้องเกิดการย่อยสลาย 90%

และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักสามารถนำไปประโยชน์เป็นสารปรับสภาพดินได้ และต้องไม่มี

ความเป็นพิษต่อพืชและสัตว์จึงจะได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และสามารถกำจัดได้โดยโดยกระบวนการหมักขยะอินทรีย์ เมื่อตัวอย่างผ่านมาตรฐานการทดสอบและมีสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด จะได้รับอนุญาตให้ติดสัญลักษณ์ที่แสดงว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น OK Compost ของประเทศเบลเยียม compostable DIN CERTCO ของประเทศเยอรมนี Compostable ของอเมริกา และ PBS GreenPla ของประเทศญี่ปุ่นดังแสดงในรูป 2.13 [14]



รูป 2.13 แสดงตัวอย่างสัญลักษณ์ที่บ่งบอกว่าเป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [14]

### 2.3.1 วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

วัตถุดิบที่นำมาผลิตพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามรูปที่ 2.14

| แหล่งวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้ | แหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม                        |
|----------------------------------|--|
| พลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ   | PVA  |
| พื้นฐาน                          | พอลิเอสเตอร์สังเคราะห์แบบสายโซ่ตรง เช่น PCL    |
| PLA                              | ACC โทพอลิเมอร์                                |
| PHAs                             | PET ที่ถูกตัดแปร                               |
| PBS                              | พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยแสง             |
| PBT                              | Controlled degradation additive master-batches |
| PTT                              |  |
| พอลิเอไมด์                       |  |
| พอลิยูรีเทน                      |  |

รูปที่ 2.14 แสดงแหล่งวัตถุดิบที่นำมาผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.1 แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้

ได้แก่พืชผลทางการเกษตรจำพวกแป้งและน้ำตาล เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย หัวบีท ข้าวสาลี ข้าวไรย์ และปาล์ม ในประเทศสหรัฐอเมริกาพืชผลทางการเกษตรหลักที่ใช้ผลิตสารตั้งต้น ได้แก่ข้าวโพด ในขณะที่น้ำตาลจากหัวบีทถูกเป็นสารตั้งต้นในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป เนื่องจากความต้องการในการลดต้นทุนการผลิตพลาสติกชีวภาพ จึงมีการแสวงหามวลชีวภาพประเภทอื่นที่มีประสิทธิภาพและราคาไม่แพงใช้เป็นวัตถุดิบนอกเหนือจากแป้งและน้ำตาล ได้แก่ เซลลูโลสและลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulosics) ที่มีอยู่ในพืช ซึ่งสามารถนำไปย่อยเป็นน้ำตาลได้ เป็นต้น [14]

### 2.3.1.2 แหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม

เช่นน้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ แนพธา (Naptha) และถ่านหิน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ไม่สามารถหาทดแทนได้ และถูกใช้เป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งวัตถุดิบในกระบวนการผลิต แหล่งวัตถุดิบดังกล่าวนอกจากจะและหมดไปแล้ว กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ได้ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย แหล่งวัตถุดิบที่สามารถปลูกทดแทนใหม่ได้จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่คำนึงถึงการนำไปใช้เป็นแหล่งให้พลังงานและแหล่งวัตถุดิบในการผลิตวัสดุ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติกเพื่อลดการวัดุดิบจากปิโตรเลียมลง ซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและการขาดแคลนวัตถุดิบด้วย [14]

## 2.3.2 ประเภทของพลาสติกที่ย่อยสลายได้

พลาสติกที่ย่อยสลายได้สามารถแบ่งตามกลไกการย่อยสลายได้ดังต่อไปนี้

### 2.3.2.1 พลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) เป็นพลาสติก

ย่อยสลายได้ชนิดหนึ่งที่มีกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ และแบคทีเรียในธรรมชาติ เมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมวลชีวภาพ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืชรวมถึงมันสำปะหลังและ ข้าวโพด ที่เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ดังนั้นวงจรของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงมีรูปแบบคือมีสมบัติในการใช้งานเช่นเดียวกับพลาสติกโดยทั่วไปแต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่เมื่อทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้ไปเป็นขยะ และอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมคือ มีแบคทีเรียและเอนไซม์ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนั้นก็จะเกิดการย่อยสลายได้ซึ่งผู้บริโภคบางรายที่กล่าวว่า พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพนี้จะเกิดการย่อยสลายไปในขณะที่ใช้งานโดยทำให้อายุการใช้งานสั้น และไม่คุ้มค่าในการใช้งานนั้น ไม่ต้องกังวลในจุดนี้อีกต่อไป เพราะตราใบที่เราไม่ทิ้งพลาสติกย่อยสลายได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางชีวภาพนี้ให้เป็นขยะโดยเฉพาะเมื่อถูกฝังกลบ และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการย่อยสลาย ก็จะไม่เกิดการย่อยสลาย พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีแนวโน้มการทำตลาดที่ดีและมีการผลิตเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ Polylactic acid (PLA) และ Polyhydroxyalcanoates (PHAs) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ได้จากธรรมชาติคือ ใช้กระบวนการทางชีวเคมีในการเปลี่ยนสภาพจากแป้งที่ได้จากมันสำปะหลังและข้าวโพดให้เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [14]

**2.3.2.2 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation plastic) หรือบางครั้งเรียกว่า พลาสติกที่สลายตัวได้โดยไม่ต้องพึ่งพาลูตินทรีย์ (Bioerodeable plastic)** การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความชื้น แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide , ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (stabilizing agent) ของแสงและความชื้นจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานซิลิคอน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) การแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น [14]

**2.3.2.3 พลาสติกย่อยสลายได้ด้วยแสง (Photodegradable plastic)** การย่อยสลายด้วยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้อาจไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งขึ้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนาบบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรงประเทศฝรั่งเศสใช้พลาสติกประเภทนี้ ขนาดกว้างประมาณ 1 เมตร ปลงบนทุ่งนาเพื่อกักเก็บความร้อนในดินและเร่งผลผลิต อายุใช้งานอยู่ระหว่าง 1-3 ปีก่อนผุพังปนไปกับดิน [14]

**2.3.2.4 พลาสติกย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation plastic)** การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮไดรด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ โดยทั่วไปปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาชีวเคมี ซึ่งใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ทั้งสองประเภทนี้ยังต้องอาศัยปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และ pH เพื่อเร่งกระบวนการย่อยสลาย นอกจากนี้ การย่อยสลายทางชีวภาพยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ฝังกลบขยะด้วย

(Catalytic hydrolysis) และไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ เช่น depolymerase, lipase, esterase, และ glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น โลหะแอลคาไลน์ (Alkaline metal) เบส (base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส [14]

### 2.3.3 การใช้ประโยชน์จากพลาสติกย่อยสลายได้

ประโยชน์ของพลาสติกย่อยสลายได้ที่ประสบผลสำเร็จมากที่สุด คือ พลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้ในการผ่าตัด และไหมเย็บแผล ปัจจุบันมักทำจากพลาสติกย่อยสลายได้ที่สามารถละลายในของเหลวของร่างกายได้อย่างช้าๆ ซึ่งจะช่วยให้ไม่ต้องมีการตัดไหม นอกจากนี้ ยังมีการบรรจุยาลงในแคปซูลพลาสติกที่ละลายได้ช้า เพื่อปล่อยตัวยาเข้าสู่กระแสโลหิตในอัตราที่ควบคุมได้ การนำไปใช้ประโยชน์ของพลาสติกย่อยสลายได้ สามารถสรุปได้โดยสังเขปดังนี้คือ [14]

2.3.3.1 การงานทางการแพทย์ พลาสติกย่อยสลายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวนึงเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือ ไหมละลาย อุปกรณ์ประเภทสกรู และแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้แล้วเสร็จสิ้นทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย [14]

2.3.3.2 สารเคลือบกระดาด หรือ โฟม ปัจจุบันมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมาใช้งานเป็นสารเคลือบกระดาดสำหรับห่อแอมเบอร์เกอร์ หรือถ้วยน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง [14]

2.3.3.3 ฟิล์มคลุมดินและวัสดุสำหรับการเกษตร ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ ซึ่งแผ่นฟิล์มจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืช และรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจะช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งานเนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า [14]

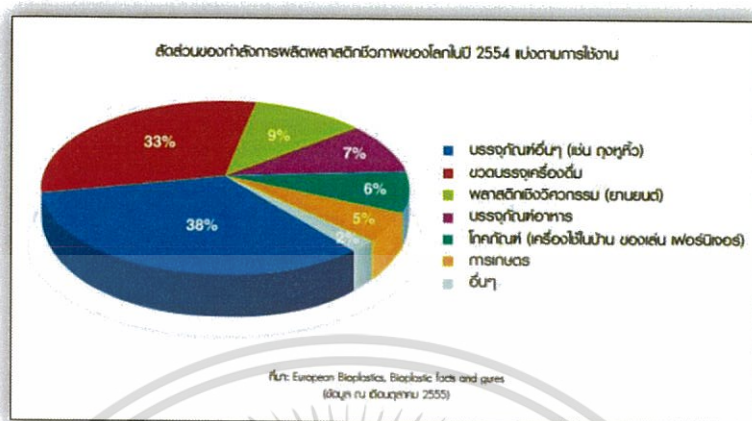
**2.3.3.4 ถุงสำหรับใส่ของ (Shopping bag)** ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสัดส่วนอยู่ในขยะในปริมาณสูงและยังไม่ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีความยุ่งยากในขั้นตอนการคัดแยกและทำความสะอาด รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ พลาสติกย่อยสลายได้จึงเป็นพลาสติกที่มีศักยภาพในการนำมาใช้แทนพลาสติกทั่วไปเพื่อผลิตเป็นถุงและฟิล์มในบางโอกาส [14]

**2.3.3.5 ฟิล์ม และถุงสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร (Food waste film and bag)** ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหาร เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีระบบการกำจัดขยะอินทรีย์ด้วยวิธีการคอมโพสท์ ซึ่งกำลังได้รับความนิยมในต่างประเทศ เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการนำมาทำคอมโพสท์พร้อมขยะอินทรีย์อื่นๆ ทำให้เกิดความสะอาดไม่ต้องแยกทิ้ง ปัจจุบันมีความต้องการใช้ถุงพลาสติกย่อยสลายได้สูงขึ้นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในหลายเมืองของประเทศอิตาลี ได้ใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใส่ขยะเศษอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 โดยมีบริษัท Novamont ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลักให้กับประเทศในสหภาพยุโรป ทำการผลิตถุงย่อยสลายได้ในสภาวะคอมโพสท์ 10,000 ต้นต่อปี ถุงที่ผลิตขึ้นนี้สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 8-10 สัปดาห์ภายใต้สภาวะการหมักในโรงงานคอมโพสท์เชิงอุตสาหกรรม [14]

**2.3.3.6 บรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค (Consumer packaging material)** ศักยภาพหนึ่งในการใช้งานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพคือ การใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ ซึ่งตามปกติการใช้บรรจุภัณฑ์อาหารที่ผลิตจากพลาสติกทั่วไปมักไม่ได้รับความนิยมนำกลับมารีไซเคิลมากนัก เนื่องจากมีการปนเปื้อนสูง ทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บและทำความสะอาด การนำพลาสติกย่อยสลายได้มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น ถาดย่อยสลายได้สำหรับอาหารสำเร็จรูปและอาหารจานด่วน จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาด้านการจัดการขยะบรรจุภัณฑ์ลงได้ [14]

**2.3.3.7 โฟมเม็ดกันกระแทก (Loose fill)** โดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้อย่างสะดวกและประหยัดเชื้อเพลิง แต่ปัญหาคือ พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้ว่าจะนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว [14]



รูปที่ 2.15 แสดงการนำพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ [15]

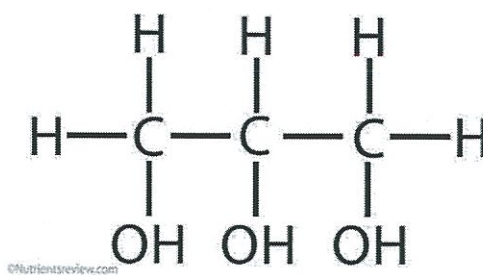
## 2.4 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers)

พอลิเมอร์บางชนิดมีสมบัติแข็ง เปราะ ไม่อ่อนตัว และแตกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำจึงทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานบางอย่างจนกว่าจะทำให้พอลิเมอร์นั้นมีความอ่อนตัวเสียก่อน กระบวนการเพิ่มความอ่อนตัวให้กับพอลิเมอร์เรียกว่า พลาสติกไซชั่น (Plasticization) และสารเติมแต่งที่ใส่เพิ่มเข้าไปเพื่อความอ่อนตัวนี้เรียกว่า พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) โดย พลาสติกไซเซอร์ที่เติมจะช่วยให้แรงดึงดูระหว่างโซ่พอลิเมอร์ลดลงเนื่องจากตัวมันเองจะเกิดพันธะกับโซ่พอลิเมอร์โดยพันธะไฮโดรเจนหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ซึ่งจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์อยู่ห่างกันมากขึ้น ทำให้การพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง เป็นผลให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ซึ่งทำให้เพิ่มความสามารถในการหักงอของพอลิเมอร์ (Flexibility) ได้ และความสามารถในการยืดออก (Extensibility and stretchability) ของพอลิเมอร์ได้โดยการทำให้อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ( $T_g$ ) ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง นอกจากนี้พลาสติกไซเซอร์ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลแบบพลาสติก (Plastic flow) และลดความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลว (Polymer's melt's viscosity) ทำให้กระบวนการขึ้นรูปง่ายขึ้น [16]

### 2.4.1 กลีเซอรอล (Glycerol)

กลีเซอรอลเป็นสารประกอบอินทรีย์พวกแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง เป็นพอลิเมอร์ที่มีคาร์บอน 3 อะตอม สูตรเคมีคือ  $C_3H_8O_3$  โครงสร้างโมเลกุลดังรูป 2.16 กลีเซอรอลเป็นของเหลวขุ่น ไม่มีสี มีจุดเดือด  $290^{\circ}C$  ละลายน้ำได้ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไขมันหรือน้ำมัน เรียกอีกชื่อว่า กลีเซอริน ในอุตสาหกรรมทำยา เครื่องสำอาง สบู่ เป็นต้น [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของกลีเซอรอล [18]

## 2.5 สารหล่อลื่น (Lubricants)

สารหล่อลื่นนิยมเรียกเป็นสารแยกส่วน (Parting agents) โดยสามารถเป็นได้ทั้งสารหล่อลื่นภายใน และสารหล่อลื่นภายนอก เช่น นำมาใช้กับผิวของแม่พิมพ์ ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ เกาะผิวของโลหะ ช่วยป้องกันไม่ให้ผิวของโลหะเปียกน้ำ หรือ เป็นสารหล่อลื่นในสารประเภทเทอร์โมพลาสติกสตาตร์และเทอร์โมเซต [19]

### 2.5.1 หน้าที่ของสารหล่อลื่น

การนำสารหล่อลื่นมามาใช้จะช่วยทำให้ลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลลดลง ช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ ช่วยลดอุณหภูมิของกระบวนการลง ช่วยให้พอลิเมอร์หลอมเหลวรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับองค์ประกอบอื่นๆ ช่วยประหยัดพลังงาน และเพิ่มผลผลิตในการผลิต นอกจากนี้ สารหล่อลื่นยังมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- เม็ดพลาสติกที่มีสารหล่อลื่นอยู่ ทำให้การไหลในอุปกรณ์ป้อนวัสดุเป็นไปได้ด้วยดี
- ควบคุมความร้อนเนื่องจากแรงเสียดทานและอัตราการหลอมเหลว
- ลดความหนืดของหลอมเหลว และกำลังที่ต้องใช้ ทำให้เกิดการไหลได้เร็ว
- ลดการบวมของตาย (Die swell)
- ลดการเสียคุณภาพเนื่องจากความเฉือน (Shear degradation)
- ช่วยให้พอลิเมอร์หลุดออกจากอุปกรณ์ที่ขึ้นรูป เช่น ตาย แม่พิมพ์ หรือลูกกลิ้งได้ง่ายขึ้น
- เพิ่มความเงา (Gloss)

โดยสารหล่อลื่นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricant) และสารหล่อลื่นภายนอก (External lubricant) โดยสามารถแบ่งลักษณะเฉพาะของสารหล่อลื่นภายใน และสารหล่อลื่นภายนอกได้ดังตารางที่ 2.9 [19] ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงลักษณะเฉพาะระหว่างสารเติมแต่งภายในและสารเติมแต่งภายนอก [19]

| สารหล่อลื่นภายใน  | สารหล่อลื่นภายนอก   |
|---|---|
| 1. วัสดุที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นภายในต้องสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์หลักที่ใช้  | 1. วัสดุที่เป็นสารหล่อลื่นภายนอกไม่สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์หลักที่ใช้   |
| 2. สารหล่อลื่นภายในทำให้เกิดแรงระหว่างโมเลกุล   | 2. สารหล่อลื่นภายนอกมีความสามารถในการละลายได้ดีกับพอลิเมอร์ค่อนข้างต่ำ และเกิดเป็นฟิล์มโมเลกุลเดี่ยวอยู่ระหว่างอนุภาคของพอลิเมอร์และผิวโลหะร้อน ทำให้ลดแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลลง |
| 3. หน้าที่หลักของสารหล่อลื่นภายในคือการลดความหนืดของหลอมไหล ทำให้พอลิเมอร์หลอมไหลได้โดยไม่มีผลกระทบต่ออาการของสารประกอบ | 3. หน้าที่หลักของสารหล่อลื่นภายนอกคือ ลดความเสียดทานระหว่างอนุภาคในกระบวนการหลอม ด้วยเหตุนี้จึงมีผลอย่างมากต่อเวลาที่ในการหลอมสูตรผสม   |
| 4. ภายหลังจากหลอม สารหล่อลื่นภายในมีผลต่อสายโซ่ของพอลิเมอร์   | 4. ภายหลังจากหลอม สารหล่อลื่นภายนอกจะอยู่ข้างผิวของพอลิเมอร์หลอมเหลว และมีผลในการเตรียมสารหล่อลื่นด้านผิวโลหะร้อนของอุปกรณ์ในกระบวนการ  |

### 2.5.2 แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate)

Magnesium stearate หรือเรียกว่า octadecanoic acid, magnesium stearate salt, เป็นสารสีขาว มีลักษณะเป็นผงที่อุณหภูมิห้อง มีสูตรทางเคมีว่า  $Mg(C_{18}H_{35}O_2)_2$  เป็นเกลือที่มี 2 equivalents ของ stearate (ประจุลบกรด stearate) Magnesium stearate มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 88°C ไม่ละลายน้ำ และละลายกับต่อมนุษย์ หากได้รับในปริมาณไม่เกิน 2500มก./กก. ต่อวัน [20]

#### คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

- มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส
- จุดหลอมเหลว 88°C
- ละลายได้ในน้ำเย็นเล็กน้อย [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การนำใช้งาน

- ทางเภสัชกรรม ทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในยาเม็ดที่ผ่านการอัด
- ทางผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในเครื่องสำอางใช้ผสมกับแป้งเพื่อป้องกันหน้าแห้ง ทำให้หน้าดูเป็นธรรมชาติ
- ทางอาหาร ทำงานเป็นสารหล่อลื่น สารเชื่อม หรือสารปลดปล่อยสีในอาหาร [20]

## ผลกระทบต่อสุขภาพ

- เป็นอันตรายในกรณีการบริโภค
- เป็นอันตรายในกรณีถูกผิวหนัง (ระคายเคือง) จากตา (ระคายเคือง) จากการสูดดม [20]



รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างของแมกนีเซียมสเตียเรท [20]

### 2.5.3 กรดสเตียริก (Stearic acid)

กรดสเตียริกเป็นกรดไขมันอิ่มตัวมีจำนวนคาร์บอน 18 ตัวในสายโซ่ มีชื่อในระบบ IUPAC คือ octadecanoic acid เป็นผลึกสีขาว ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์และอีเธอร์ พบในไขมันพืชและสัตว์ ใช้เป็นส่วนประกอบในการทำยา เครื่องสำอาง [21]



รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของกรดสเตียริก [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การนำไปใช้ประโยชน์

ใช้ทำเป็นเบสของครีมล้างหน้า สบู่ แชมพู นอกจากนี้ยังมีการใช้ผสมกับน้ำมันระหุ่ง (Castor oil) เพื่อทำน้ำยาปรับผ้านุ่มด้วย นอกจากนี้ยังใช้เพิ่มความแข็ง (Hardener) ในเทียน ในอาหารเช่น น้ำเชื่อม และใช้เป็นสารหล่อลื่น ในการขึ้นรูปพลาสติก (Injection molding) [21]

ตารางที่ 2.9 สมบัติของกรดสเตียริก [23]

|                |                           |
|----------------|---------------------------|
| สูตรโครงสร้าง  | $C_{18}H_{34}O_2$         |
| น้ำหนักโมเลกุล | 284.4772 g/mol            |
| ความหนาแน่น    | 0.84700 g/cm <sup>3</sup> |
| จุดเดือด       | 361°C                     |
| จุดหลอมเหลว    | 69.3°C                    |

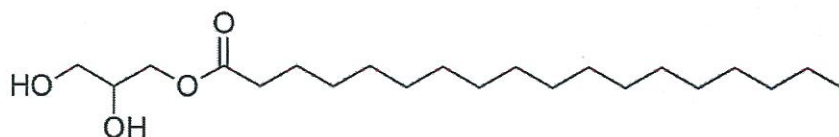
### 2.5.4 กรีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glycerol monostearate)

กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท เป็นสารอินทรีย์ซึ่งเป็นกลีเซอรอลเอสเทอร์ (Glycerol ester) ของกรดสเตียริก โดยส่วนใหญ่จะเป็นอิมัลชันซีไฟเออร์ (Emulsifier) โดยทั่วไปของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท จะมีลักษณะเป็นแผ่นสีขาว ไม่มีกลิ่น รสหวาน และสามารถดูดความชื้นได้ โดยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทสามารถนำไปใช้เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant), นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น สารกันบูด, นำไปเป็นสารเคลือบ เป็นต้น [24]

ข้อมูลโดยทั่วไปของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท มีดังนี้

- ชื่อเคมี IUPAC 2,3-Dihydroxypropyl octadecanoate
- ชื่อเคมีทั่วไป Glyceryl monostearate, Glycerin monostearate, Monostearin
- สูตรโมเลกุล  $C_{21}H_{42}O_4$

โดยสูตรโครงสร้างโมเลกุลและสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 และตารางที่ 2.11 ตามลำดับ [24]



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท [25]

ตารางที่ 2.10 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท [24]

| สมบัติ (Properties)              |                            |
|----------------------------------|----------------------------|
| น้ำหนักโมลกุล                    | 358.56 g.mol <sup>-1</sup> |
| ลักษณะที่ปรากฏ                   | ของแข็งสีขาวถึงเหลือง      |
| ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.97 g/cm <sup>3</sup>     |
| จุดหลอมเหลว (°C)                 | 58-59 °C                   |

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กษิดิศ อิมประไพ และคณะ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโภาคได้จาก แป้งต่างชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้น 5, 10 และ 15% (w/v) โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่ความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนักของแป้ง และขึ้นแผ่นฟิล์มโดยเทลงบนแผ่นอะคริลิก ทำแห้งที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนา (Thickness) ความใส (Opacity) อัตราการซึมผ่านไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate, WVTR) การละลาย (Solubility) ความทนต่อแรงยืด (Tensile strength, TS) และการยืดตัว (Elongation, E) พบว่า ความหนาของฟิล์มจากแป้งทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มขึ้น ความใสของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีค่า Opacity ต่ำกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้า และฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการซึมผ่านไอน้ำต่ำกว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้าและเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น สำหรับการละลาย ความทนต่อแรงยืด และการยืดตัวของฟิล์มแป้งมันสำปะหลังมีอัตราการละลาย ความทนต่อแรงยืด และการยืดตัวของฟิล์ม

เภศศิณี ตระกูลทิวากร และคณะ ผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง คือ นำแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ผสมกับกลีเซอรอล หรือ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท ร้อยละ 0.25 และ 10 โดยใช้เครื่องอัดรีดผสม จากการปรับปรุงปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้นทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีลักษณะเรียบขึ้น แต่ทนทานต่อการแตกพับลดลง การผสมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทในไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณร้อยละ 5 และ 10 ในปริมาณต่างกัน ไม่ส่งผลต่อความเรียบของฟิล์ม และจากการผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอล มีสีขาวขุ่น ยืดหยุ่นพอใช้ และฟิล์มจากแป้งข้าวเจ้ายังมีความเปราะบางกว่าฟิล์มที่ทำจากแป้งมันสำปะหลัง [27]

V. Consuelo และคณะ ได้ทำการศึกษาการป้องกันการดูดน้ำและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่มีการกรดสเตียริกเป็นองค์ประกอบของสตาร์ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูป (Casting) โดยสตาร์ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังนั้นพบว่ามีความสมบัติเชิงกลที่ดีและทนต่อออกซิเจน แต่ไม่ทนต่อความชื้นและไอน้ำ จึงต้องการเพิ่มสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ โดยการเพิ่มกรดสเตียริก โดยทำการเตรียมฟิล์ม โดยใช้กรดสเตียริกและกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ผลของความเข้มข้นของกรดสเตียริกและกลีเซอรอลต่อสมบัติเชิงกล การละลายน้ำ และการซึมผ่านของน้ำ ถูกตรวจสอบได้จากผลตอบสนองแบบโครงร่างผิว (Response surface methodology) โดยพบว่าสตาร์ฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลังที่ทำการเพิ่มกรดสเตียริก 4 กรัมและกลีเซอรอล 24 กรัมต่อแป้ง 100 กรัมละลายในน้ำและดูดซับน้ำน้อยลง [28]

Coma.v และคณะ ศึกษาเกี่ยวกับกรดไขมันต่อสมบัติในการยับยั้งเชื้อของไนซินในฟิล์ม Hydroxypropylmethylcellulose พบว่ากรดสเตียริกซึ่งเป็นกรดไขมันเมื่อเติมลงในฟิล์มช่วยเพิ่มการป้องกันการผ่านเข้าออกของไอน้ำของฟิล์มได้ดีกว่ากรดไขมันและอีเทอร์ชนิดอื่น เช่น โอเลอิก (Oleic acid), Methylpamitate และ Methylstearate แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดสเตียริกเพิ่มขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งของฟิล์มที่ผสมไนซินลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาของประจุลบในกรดสเตียริกและประจุบวกของไนซิน ทำให้ไนซินตรึงอยู่ในฟิล์มไม่สามารถกระจายออกมาเพื่อยับยั้งแบคทีเรียได้ [29]

ดวงใจ ธีรธรรมวาร และคณะ ได้ศึกษาสมบัติการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มบริโภาค โดยพบว่า สตาร์ชเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตเป็นฟิล์มบริโภาค แต่มีสมบัติด้านการแพร่ผ่านของไอน้ำที่ไม่ดี ในงานวิจัยนี้ได้มีการผสมกรดไขมันลงไปในฟิล์มที่ดัดแปรด้วยออกทีนิลซัคซิเนตซึ่งเป็นสตาร์ชดัดแปรที่มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์เพื่อปรับปรุงสมบัติการป้องกันการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและระดับของลิพิดต่อสมบัติของฟิล์มที่บริโภาคได้ และศึกษาผลของการเคลือบต่อสมบัติของข้าว-อบกรอบอะราเร่ ลิพิด 3 ชนิดที่ศึกษาได้แก่ กรดโอเลอิก กรดสเตียริก และกรดปาล์มมาติก และความเข้มข้นของลิพิด 3 ระดับ ได้แก่ อัตราส่วนลิพิดต่อสตาร์ช เท่ากับ 0:1, 0.1:1, 0.2:1 โดยใช้ซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และตรวจสอบสมบัติของฟิล์มในด้านต่าง ๆ ดังนี้ โครงสร้างระดับอนุภาค อันตรกิริยาในแผ่นฟิล์ม การเกิดผลึก สีและความขุ่น สมบัติเชิงกลและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการแพร่ผ่านของไอน้ำ จากนั้นเลือกสูตรที่มีการแพร่ผ่านของไอน้ำต่ำที่สุดเพื่อเคลือบขนมข้าวอบกรอบอะราเล่ และทดสอบซอร์ปชั่นไอโซเทอม สมบัติทางกายภาพ จากการศึกษาพบว่าฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชและกรดไขมันในอัตราส่วนต่างๆมีค่า Tensile strength และ Elastic modulus ต่ำกว่า และมีค่า %Elongation at break สูงกว่าสูตรควบคุม (ไม่ผสมลิพิด) ความสามารถในการแพร่ผ่านไอน้ำของฟิล์มจากสตาร์ชตัดแปรรูปออกเทนิลซัคซิเนต ต่ำลง เมื่อผสมกรดไขมันอิ่มตัวที่ระดับความเข้มข้นของกรดไขมันต่อสตาร์ชเท่ากับ 0.2 ต่อ 1 ฟิล์มที่ไม่ผสมกรดไขมันมีความชุ่มและผิวหน้าขรุขระมากกว่าฟิล์มที่ไม่ผสมกรดไขมัน ยกเว้นฟิล์มที่ผสมกรดโอเลอิกที่ระดับความเข้มข้น 0.2 ต่อ 1 ขนมข้าวอบกรอบที่เคลือบสารเคลือบจากสตาร์ชตัดแปรรูปออกเทนิลซัคซิเนตที่ผสมกรดไขมันอิ่มตัว มีปริมาณความชื้นที่ระดับชั้นโมโนเลเยอร์ (M0) ต่ำกว่า และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีวิกฤติ (critical water activity) สูงกว่าขนมข้าวอบกรอบที่เคลือบสารเคลือบไม่ผสมกรดไขมัน [30]

**ธีระพงศ์ บัวศรี และคณะ** ได้ทำการพัฒนาเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชให้มีความว่องไวต่อความชื้นลดลง โดยเคลือบเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วย Fatty acid (Stearic acid, behenic acid, linoleic acid, oleic acid), Chitosan และ Chitosan derivatives โดยใช้วิธีการเคลือบผิว คือ Solution dipping ในการทดสอบความว่องไวต่อการดูดความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว ซึ่งจากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่เคลือบผิวมีการดูดความชื้นน้อยกว่าชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกที่ได้เคลือบผิวโดยชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย Chitosan และ Chitosan derivative มีการยึดติดกันระหว่างสารที่นำมาเคลือบผิวกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้ดีกว่าชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เคลือบด้วย Fatty acid แต่ชิ้นงานที่เคลือบด้วย Fatty acid นั้น มีการดูดซับความชื้นได้ดีกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่เคลือบด้วย Chitosan และ Chitosan derivative หลังจากเก็บชิ้นงานไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 53% เป็นเวลา 15 วัน สมบัติความต้านทานแรงดึงและความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นงานเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้เคลือบผิวมีการเปลี่ยนแปลงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีการเคลือบ [31]

**พรพรรณ จันทรีไตร และคณะ** ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติความคงทนต่อการดูดซับน้ำของฟิล์มแป้งมันสำปะหลัง ผลการศึกษาพบว่า ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมกรดสเตียริกทุกระดับมีสมบัติด้อยกว่าฟิล์มที่ไม่ได้เติม ส่วนฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมกรดโอเลอิกร้อยละ 10 มีสมบัติเด่นในด้านการยึดตัวสูง ส่วนฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เคลือบด้วยเซอีน (Zein) พบว่ามีสมบัติเด่นที่สุดในส่วนของสมบัติด้านการซึมผ่านพบว่า ฟิล์มมีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน 10.80 มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมงบรรยากาศ การซึมผ่านของไอน้ำ 0.18 กรัม มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อ 24 ชั่วโมง มิลลิเมตรปรอท และสามารถต้านทานน้ำมนได้ 120 วัน ลักษณะของฟิล์มจากกล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ชนิดกราดลำแสงพบว่า फिल्मมีพื้นผิวเรียบ และลักษณะภาพตัดขวางพบว่า ชั้นของฟิล์ม แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะโครงสร้างร่างแหสามมิติและชั้นของผิวฟิล์มเซอิน (Zein) มีผิวเรียบ [32]

Lovedeep K. และคณะ ศึกษาเกลือเซอร์อลโมโนสเตียเรท (GMS) ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ สมบัติทางความร้อน สมบัติการไหล เนื้อสัมผัส และสมบัติการทำเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวของแป้ง ข้าวโพด และแป้งมันฝรั่ง โดยนำแป้งข้าวโพด หรือแป้งมันฝรั่ง ผสมกับ GMS เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของแป้งแห้งในระบบแขวนลอย พบว่า การบวมตัวและความสามารถในการละลายลดลง โดยแป้งมันฝรั่งบวมตัวมากกว่าแป้งข้าวโพด ความใสหรือการส่งผ่านของแสง (Light transmittance) ของแป้งลดลง อุณหภูมิการเกิดเจล (Gelatinization temperatures) ของแป้งเพิ่มขึ้น ความเป็นเจล ของแป้ง (Starch gel) เพิ่มขึ้น และสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่าความแข็งที่ผิว (Hardness) การยึดติด (Cohesiveness) และความยืดหยุ่น (Springiness) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลง [33]

Schmidt V.C.R. และคณะ ศึกษาการป้องกันการดูดน้ำและสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่มี กรดสเตียริกเป็นองค์ประกอบของสตาร์ฟิล์ม โดยนำแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำกลั่นทำการปรับปรุง สมบัติด้วยกรดสเตียริกในความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15, และ 20 ตามลำดับ โดยมีเกลือเซอร์อล เป็นพลาสติกไซเซอร์ นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูป (Casting) พบว่าเมื่อความ เข้มข้นของกรดสเตียริกเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึงและการดึงยึดมีค่าลดลง แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดจาก 19.59 MPa เป็น 23.2 MPa การละลายน้ำสุตรที่ไม่ได้ใส่กรดส เตียริก เท่ากับ 31.68 % ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 10 พบว่าการละลายน้ำลดลงเป็น 13.48 % และ 22.84 % และที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 และ 20 พบว่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 38.47 % และ 65.97 % ในส่วนของการซึมผ่านของไอน้ำของแป้งทุกสูตรที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกมีค่าลดลง [34]

A.L.D. Roz และคณะ ศึกษาผลของมวลโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ซ์ ปรับปรุงด้วย กรดอินทรีย์ ที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกล ซึ่งกรดอินทรีย์ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติ คือ กรดแอสคอร์บิก และ กรดซิตริก โดยทำการหลอมแป้งข้าวโพดที่มีเกลือเซอร์อลเป็นพลาสติกไซเซอร์ กับกรดอินทรีย์แต่ละชนิดในปริมาณต่างๆ ในเครื่องผสมระบบปิด Internal mixer แล้วนำไปอัดขึ้น รูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จนได้เป็นแผ่นหนา 2 มิลลิเมตร พบว่าความหนืดและอุณหภูมิ หลอมเหลวลดลง ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น สมบัติการดูดซับน้ำและความเป็นผลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลง [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

1. แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch) ตรา ปลาไทย 5 ดาว บริษัท อีทีซี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด องค์กรประกอบของแป้งมันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 องค์กรประกอบของแป้งมันสำปะหลัง

| องค์กรประกอบ     | ปริมาณ(ร้อยละ) |
|------------------|----------------|
| ความชื้น         | < 13%          |
| คาร์โบไฮเดรต     | 87 ± 1         |
| - อะไมโลส        | 17             |
| - อะไมโลเพคติน   | 83             |
| ไขมัน            | 0.25           |
| โปรตีน           | 6.50 - 7.50    |
| เถ้า             | 0.23           |
| ขนาด             | < 160 μm       |
| ความเป็นกรด-ด่าง | 6.0 – 7.0      |

หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

2. กรดสเตียริก (Stearic acid) จากบริษัท รวมเคมีภัณฑ์ จำกัด
3. กลีเซอรอล (Glycerol) เกรดการค้า จากบริษัท Lab System
4. แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) จากบริษัท รวมเคมีภัณฑ์ จำกัด
5. กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glycerol monostearate) จากบริษัท รวมเคมีภัณฑ์ จำกัด
6. น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2 ข้อมูลทั่วไปของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glycerol monostearate)

| Inspection items | Test results |
|------------------|--------------|
| Acid value       | 2.36         |
| SAP. value       | 164.47       |
| Iodine value     | 1.23         |
| % Mono glyceride | 47.78        |
| % Free glycerol  | 2.81         |
| Melting point    | 58.00        |
| Color gardner    | 1.00         |

หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตาราง 3.3 ข้อมูลทั่วไปของกรดสเตียริก (Stearic acid)

| Test Parameters      | Test Result | Specifications | Unit      | Test Method                            |
|----------------------|-------------|----------------|-----------|--|
| Acid Value           | 201.08      | 195.00 Min     | mg KOH/g  | In-house Method based on AOCS Tc la-64 |
| Saponification Value | 203.20      | 196.00 Min     | mg KOH/g  | AOCS Tl la-64                          |
| Iodine Value         | 4.44        | 8.00 Max       | g 12/100g | In-house Method based on AOCS Tg la-64 |
| Titre                | 53.2        | 52.0 Min       | °C        | AOCS Tr la-64                          |
| Colour ()_Y          | 5.9         | 20.0 Max       | Yellow    | AOCS Cc 13b-45                         |
| Colour ()_R          | 0.6         | 2.0 Max        | Red       | AOCS Cc 13b-45                         |

หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

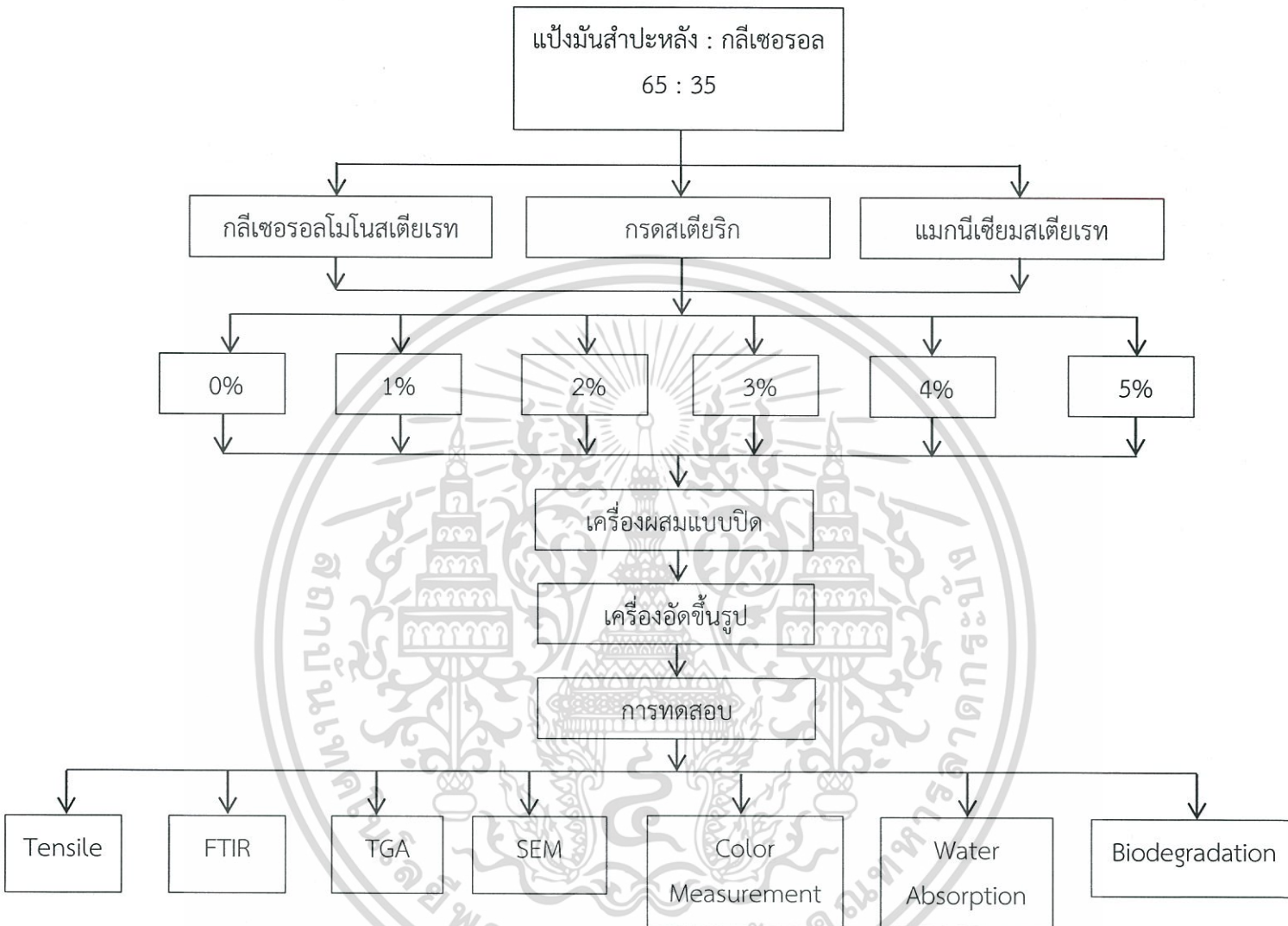
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) BRABENDE รุ่น MX500-D75L90, CHAREON
2. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) Model MGLP-20 AT M/G NO.228
3. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) Lloyd Instrument รุ่น LR5k, INTROENTERPRISE
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) LEO รุ่น 1455 VP, LEO
5. เครื่องทดสอบทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer, TGA) รุ่น PYRIS Diamond, PERKIN ELMER
6. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (IR spectrophotometer) รุ่น SPECTRUM GX, PERKIN ELMER
7. เครื่องวัดสี (Color meter) รุ่น MiniScan XE plus, COLOR ASSOCIATES
8. ตู้อบ WTB binder 7200 Tuttlingen/Germany
9. เกรียง
10. ถังมือกันความร้อน
11. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง
12. แม่พิมพ์หนา 2 มิลลิเมตร
13. แผ่นใสถ่ายเอกสารได้
14. เครื่องตัดชิ้นงานรูปดัมเบลล์
15. เวอร์เนีย
16. ไมโครมิเตอร์
17. กรรไกร
18. กล่องพลาสติก
19. ถังซิปล็อค
20. ถาดอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์จากแป้ง มันสำปะหลัง (TPCS)

ในการวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ตามรูปที่ 3.1 โดยผสมสูตรในปริมาณต่างๆ

ตาราง 3.4 ปริมาณของแป้งต่อกลีเซอรอลที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติก [13]

| ชนิดของแป้ง     | ปริมาณแป้ง (กรัม) | ปริมาณกลีเซอรอล (กรัม) |
|-----------------|-------------------|------------------------|
| แป้งมันสำปะหลัง | 65                | 35                     |

3.3.1.1 ชั่งแป้งและกลีเซอรอลใส่ลงในภาชนะในปริมาณตามตารางที่ 3.4 แล้วทำการผสมให้เข้ากัน จากนั้นเก็บของผสมที่ได้ในภาชนะปิด 1 คืน เพื่อให้กลีเซอรอลเข้าไปในเนื้อแป้ง

3.3.1.2 นำแป้งที่ทำการหมักไว้มาชั่งตามตารางที่ 3.5 – 3.7 โดยมีน้ำหนักรวมในการผสมต่อครั้ง เท่ากับ 50 กรัม

3.3.1.3 นำของผสมที่เตรียมได้มาผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) ทำการผสมที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และความความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที [13]

3.3.1.4 ชั่งสารเติมแต่งตามตารางที่ 3.5 – 3.7 โดยใส่สารเติมแต่งลงในเครื่องผสมระบบปิด หลังจากทำการผสมแป้งเป็นเวลา 1 นาที

ตาราง 3.5 ปริมาณในการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาบิลไรเซอร์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก

| สูตร    | แป้งมันสำปะหลัง<br>และกลีเซอรอล<br>(กรัม) | กรดสเตียริก     |          |
|---------|---|-----------------|----------|
|         |   | เปอร์เซ็นต์ (%) | กรัม (g) |
| TPCS    | 50  | 0               | 0        |
| TPCS-S1 | 50  | 1               | 0.325    |
| TPCS-S2 | 50  | 2               | 0.65     |
| TPCS-S3 | 50  | 3               | 0.975    |
| TPCS-S4 | 50  | 4               | 1.3      |
| TPCS-S5 | 50  | 5               | 1.625    |

ตาราง 3.6 ปริมาณในการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

| สูตร    | แป้งมันสำปะหลัง<br>และกลีเซอรอล<br>(กรัม) | กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท |          |
|---------|---|-----------------------|----------|
|         |   | เปอร์เซ็นต์ (%)       | กรัม (g) |
| TPCS    | 50  | 0                     | 0        |
| TPCS-G1 | 50  | 1                     | 0.325    |
| TPCS-G2 | 50  | 2                     | 0.65     |
| TPCS-G3 | 50  | 3                     | 0.975    |
| TPCS-G4 | 50  | 4                     | 1.3      |
| TPCS-G5 | 50  | 5                     | 1.625    |

ตาราง 3.7 ปริมาณในการผสมเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท

| สูตร    | แป้งมันสำปะหลัง<br>และกลีเซอรอล<br>(กรัม) | แมกนีเซียมสเตียเรท |          |
|---------|---|--------------------|----------|
|         |   | เปอร์เซ็นต์ (%)    | กรัม (g) |
| TPCS    | 50  | 0                  | 0        |
| TPCS-M1 | 50  | 1                  | 0.325    |
| TPCS-M2 | 50  | 2                  | 0.65     |
| TPCS-M3 | 50  | 3                  | 0.975    |
| TPCS-M4 | 50  | 4                  | 1.3      |
| TPCS-M5 | 50  | 5                  | 1.625    |

### 3.3.2 การขึ้นรูป TPCS จากแป้งมันสำปะหลัง

3.3.2.1 ขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding) โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำความสะอาดแม่พิมพ์แล้วทาน้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) ลงไปบนแม่พิมพ์ด้านที่มีการสัมผัสกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชแล้วประกบด้วยแผ่นใสชนิดพอลิเอสเตอร์

3.3.2.2 วางเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชลงในแม่พิมพ์ ประกบแม่เข้าด้วยกันแล้วนำเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปขึ้นรูปชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 1,300 PSI เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการหล่อเย็นต่อ 5 นาที [13]

3.3.3.3 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แล้วทำการทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

### 3.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ

#### 3.4.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared spectroscopy) ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำตัวอย่างไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารตัวอย่างมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดกับ โพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากัน ใส่ลงในแม่พิมพ์แล้วนำไปเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน  $10^{-4}$  kg/cm<sup>2</sup> นาน 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Infrared spectrometer)

#### 3.4.2 สัณฐานวิทยา

การทดสอบในส่วนสัณฐานวิทยาทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อนำมาศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) ทำการเตรียมสารตัวอย่างที่ได้โดย นำชิ้นงานตัวอย่างมาแช่ใน ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และทำการหักทันที จากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM ต่อไป

#### 3.4.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานดังตารางที่ 3.5

ตาราง 3.8 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิล

| สมบัติ   | มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ | หน่วยที่รายงาน |
|--|--------------------|----------------|
| ความเค้น ณ จุดรับแรงสูงสุด<br>(Stress at maximum load)   | ASTM D 638         | MPa            |
| มอดุลัส (Young's Modulus)                                | ASTM D 638         | MPa            |
| ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด<br>(Strain at maximum load) | ASTM D 638         | %              |

### 3.4.3.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด

ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 พร้อมทั้งใช้โปรแกรม Nexygen ซึ่งชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะต้องมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์ จำนวน 10 ชิ้นงาน ต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสภาวะของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60% ทดสอบตามสภาวะดังนี้

|              |             |
|--------------|-------------|
| Test speed   | : 40 mm/min |
| Gauge length | : 25 mm     |
| Load cell    | : 1kN       |



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่ใช้ทดสอบ [36]

ค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength)} = \frac{F}{A}$$

$$\text{มอดุลัส (Young's modulus, E)} = \frac{F/A}{[(L-L_0)/L_0]}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (\% Elongation at break)} = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง ( $\text{mm}^2$ )

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (mm)

$L_0$  คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 ปริมาณการดูดซับน้ำ (Water absorption)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E 104 นำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักไว้ จากนั้นนำไปแช่ในบรรยากาศที่อิ่มตัวด้วยโซเดียมไนเตรต ซึ่งให้ความชื้นสัมพัทธ์  $81 \pm 2$  % โดยใช้น้ำกลั่น เก็บชิ้นงานตัวอย่างภายในภาชนะปิด แล้วนำชิ้นงานออกมาบันทึกน้ำหนักทุก ๆ 24 ชั่วโมง ปริมาณการดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$M_t (\%) = \frac{(W_w - W_d)}{W_d} \times 100$$

เมื่อ  $M_t$  คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ

$W_d$  คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่น้ำ

$W_w$  คือ น้ำหนักชิ้นงานหลังแช่น้ำ

### 3.4.5 การทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตัดเทอร์โมพลาสติกสไตรช์ที่ใช้ทำการทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ สูตรละ 5 ชิ้น ฝังในดินลึกประมาณ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในช่วง 5-7% ฝังชิ้นงานเป็นระยะเวลา 5 วัน ภายใต้ระบบปิดจากนั้นเก็บตัวอย่างที่ทดสอบ ควรเก็บตัวอย่างด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากตัวอย่างอาจเกิดการย่อยสลายหรือแตกหักไปนดิน แล้วนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกลต่อไป

### 3.4.6 การวัดสี (Color Measurement)

เตรียมเทอร์โมพลาสติกสไตรช์จากการอัดขึ้นรูป โดยให้ชิ้นงานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร นำมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสีตามมาตรฐาน ASTM D-1925 แล้วเปรียบเทียบกับแถบมาตรฐาน 10 จุด เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงานตามระบบของ Hunter และ CIE ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงทังสแตน D 65/10° โดย

$L^*$  : ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L = 0$  : perfect black sample

$L = 100$  : perfect white sample

$a^*$  : ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (Red-Green)

$a$  เป็น + สีจะไปในทิศทางของแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$b^*$  : ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (Yellow-Blue)

$b$  เป็น + สีจะไปในทิศทางของเหลือง

$b$  เป็น - สีจะไปในทิศทางของน้ำเงิน

$C^*$  : ความสดใสของสี

สามารถคำนวณได้จาก  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

โดย ค่า Chroma ( $C^*$ ) - ค่าเข้าใกล้ 0 วัตถุมีสีซีดจาง

- ค่าเข้าใกล้ 60 วัตถุมีสีเข้ม

$h^\circ$  : เป็นตัวเลขระบุองศาของสี มีหน่วยเป็นองศา

สามารถคำนวณได้จาก  $h^\circ = \tan^{-1} [b^* / a^*]$  เมื่อ  $a^* > 0$  และ  $b^* \geq 0$

$= \tan^{-1} [b^* / a^*] + 180^\circ$  เมื่อ  $a^* < 0$

$= \tan^{-1} [b^* / a^*] + 360^\circ$  เมื่อ  $a^* > 0$  และ  $b^* < 0$

โดย ค่า Hue angle ( $h^\circ$ ) แสดงช่วงสีของวัตถุมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา คือ

0-45 องศา แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง 180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน

45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง 225-270 องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน

90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว 270-315 องศา แสดงสีน้ำเงินถึงสีม่วง

135-180 องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงสีเขียว 315-360 องศา แสดงสีม่วงถึงสีม่วงแดง

### 3.4.7 สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)

ศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน (Degradation temperature) ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลด้วยเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer, TGA) ซึ่งจะเป็นการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานจนชิ้นงานเกิดการเสถียรภาพ โดยศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) 10 °C/นาที ในช่วงอุณหภูมิ 50-600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาarchจากแป้งมันสำปะหลัง (Thermoplastic cassava starch, TPCS) ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก (Stearic acid) กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท (Glycerol monostearate) และ แมกนีเซียมสเตียเรท (Magnesium stearate) ในปริมาณ 0% 1% 2% 3% 4% และ 5% โดยมีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์จากนั้นทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และการย่อยสลายโดยการฝังดิน โดยสัญลักษณ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาarchสูตรต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สัญลักษณ์ของเทอร์โมพลาสติกสตาarchสูตรต่างๆ

| สูตร    | แป้งมันสำปะหลัง<br>และกลีเซอรอล<br>(กรัม) | กรดสเตียริก     | กลีเซอรอล-<br>โมโนสเตียเรท | แมกนีเซียม-<br>สเตียเรท |
|---------|---|-----------------|----------------------------|-------------------------|
|         |   | เปอร์เซ็นต์ (%) | เปอร์เซ็นต์ (%)            | เปอร์เซ็นต์ (%)         |
| TPCS    | 50  | 0               | -                          | -                       |
| TPCS-S1 | 50  | 1               | -                          | -                       |
| TPCS-S2 | 50  | 2               | -                          | -                       |
| TPCS-S3 | 50  | 3               | -                          | -                       |
| TPCS-S4 | 50  | 4               | -                          | -                       |
| TPCS-S5 | 50  | 5               | -                          | -                       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| สูตร    | แป้งมันสำปะหลัง<br>และกลีเซอรอล<br>(กรัม) | กรดสเตียริก     | กลีเซอรอล-<br>โมโนสเตียเรท | แมกนีเซียม-<br>สเตียเรท |
|---------|---|-----------------|----------------------------|-------------------------|
|         |   | เปอร์เซ็นต์ (%) | เปอร์เซ็นต์ (%)            | เปอร์เซ็นต์ (%)         |
| TPCS-G2 | 50  | -               | 2                          | -                       |
| TPCS-G3 | 50  | -               | 3                          | -                       |
| TPCS-G4 | 50  | -               | 4                          | -                       |
| TPCS-G5 | 50  | -               | 5                          | -                       |
| TPCS-M1 | 50  | -               | -                          | 1                       |
| TPCS-M2 | 50  | -               | -                          | 2                       |
| TPCS-M3 | 50  | -               | -                          | 3                       |
| TPCS-M4 | 50  | -               | -                          | 4                       |
| TPCS-M5 | 50  | -               | -                          | 5                       |

หมายเหตุ ปริมาณของกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้ง

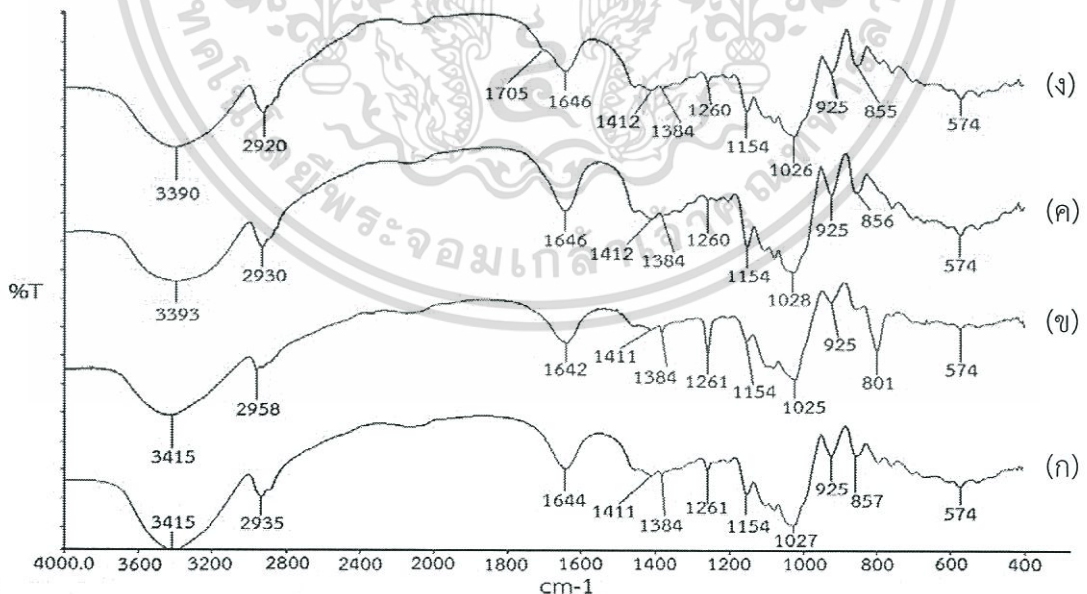
#### 4.1 การทดสอบหุ้มฟังกซ์ชัน (FT-IR)

จากการศึกษา Fourier-Transform Infrared Spectroscopy ของเทอร์โมพลาสติกสตาเรช จากแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาเรชด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรท พิคปรากฏมีลักษณะคล้ายกัน ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันปรากฏในเทอร์โมพลาสติกสตาโรล [37-38]

| เลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> ) | ลักษณะการสั่น                     |
|------------------------------|-----------------------------------|
| 3200-3600 (b)                | O-H stretching                    |
| 2800-3000                    | Alkanes C-H stretching            |
| 1640                         | Bounded water                     |
| 1735 (s)                     | C=O stretching of ester           |
| 1710 (s)                     | C=O stretching of carboxylic acid |
| 1420-1485 (m)                | O-H bending                       |
| 1410 (s)                     | C-H wagging (in-plane bending)    |
| 1300-1100 (s)                | C-O stretching                    |
| 1200-1000 (s)                | C-H bending                       |
| 900-940 (s)                  | C-H out of plane bending          |
| 800-860 (s)                  | C-H out of plane bending          |
| 735-770 (s)                  | C-H out of plane bending          |
| 600 (s)                      | C-H ของ C-H <sub>2</sub> rocking  |

หมายเหตุ S คือ ความเข้มสูง m คือ ความเข้มปานกลาง b คือ ช่วงเลขคลื่นกว้าง

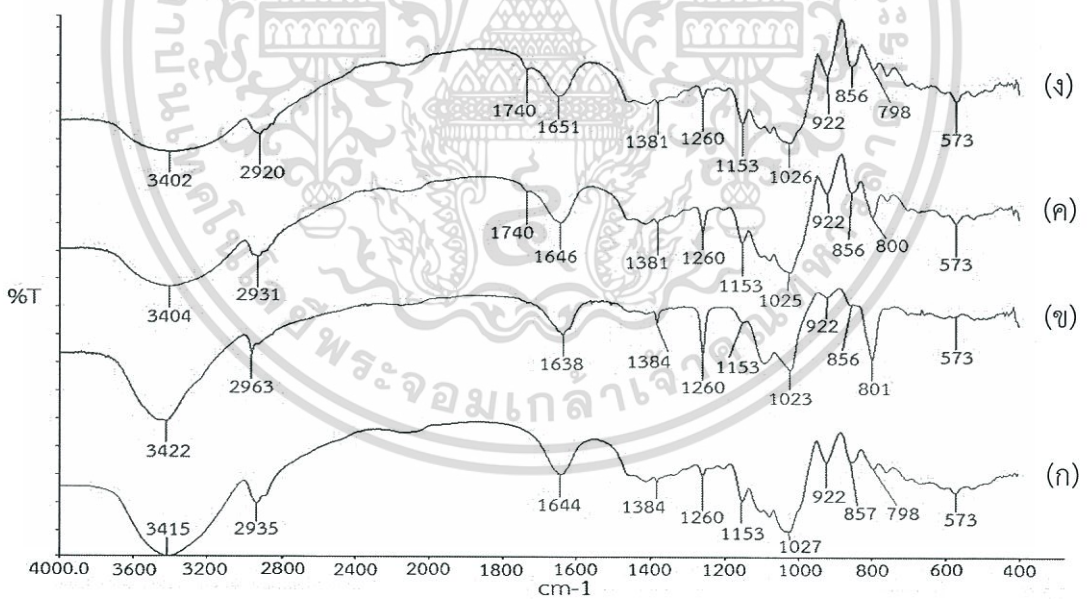


รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริกในปริมาณต่างๆ (ก) TPCS (ข) TPCS-S1 (ค) TPCS-S3 และ (ง) TPCS-S5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

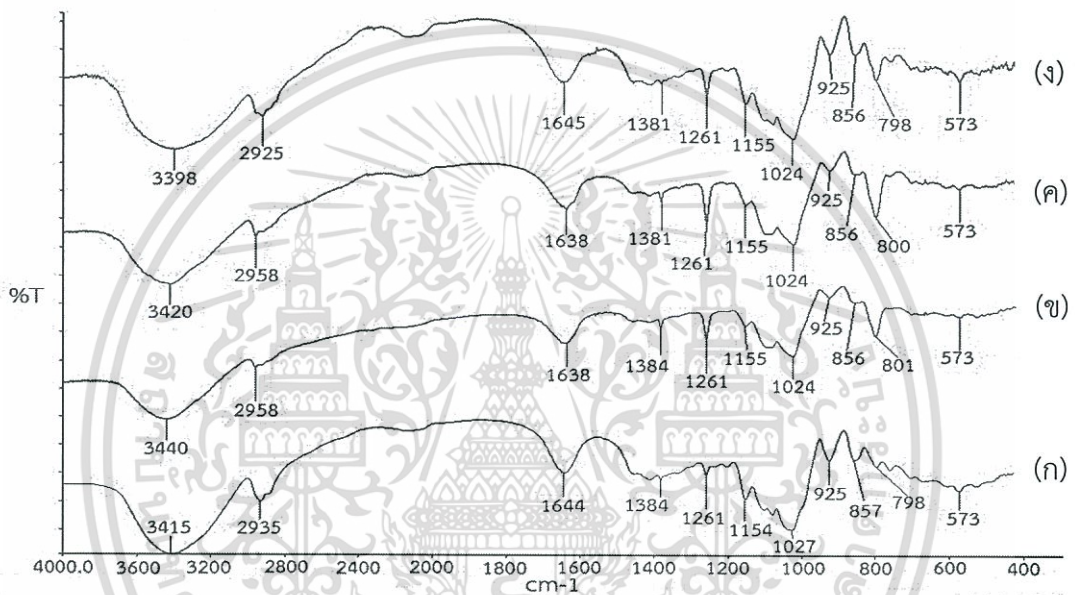
จากรูปที่ 4.1 (ก)-(ง) แสดงสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตรียริก ปริมาณต่างๆ พบว่าอินฟราเรดของทุกสูตรมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลลูโลสตามลักษณะดังนี้ พีคที่ความยาวคลื่น  $3200-3500\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ O-H Stretching จากแป้งและกลีเซอรอล พีคในช่วง  $2800-2900\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นการสั่นแบบ C-H Stretching ของ  $\text{CH}_2$  ของแป้ง พบพีคใหม่ที่  $1735\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C=O Stretching ของกรดสเตรียริก พีคที่ตำแหน่ง  $1650\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเกิดจากสั่นของน้ำในโมเลกุลของแป้ง พีคที่ตำแหน่งประมาณ  $1400\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคของ O-H Bending พีคช่วง  $1100-1300\text{ cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่นแบบ C-O Stretching ของแป้ง และพีคช่วง  $1000-1200\text{ cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่นแบบ C-H Bending พีคช่วง  $700-850\text{ cm}^{-1}$  ลักษณะการสั่นแบบ C-H Bending [37-38]

สำหรับความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกสตาซที่ไม่ได้ปรับปรุงและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตรียริก พบว่าเมื่อเติมกรดสเตรียริกลงไป 5 % โดยน้ำหนัก พบพีคใหม่ C=O stretching ของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล ( $\text{COOH}$ ) ที่แสดงในกรดสเตรียริก ที่ตำแหน่ง  $1705\text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาซจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตรียเรทในปริมาณต่างๆ (ก) TPCS (ข) TPCS-G1 (ค) TPCS-G3 และ (ง) TPCS-G5

จากรูปที่ 4.2 (ก)-(ง) แสดงสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท ในปริมาณต่างๆ พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของทุกสูตรมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกันเป็นโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ ซึ่งมีความแตกต่างจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ คือ เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทจาก 1-5 % โดยน้ำหนัก พบพีคใหม่ที่  $1740\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบ C=O Stretching ของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ (COOR) ที่แสดงในกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท โดยมีความเข้มเพิ่มขึ้น จากรูป 4.2 (ข)-(ค) ตามปริมาณของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่เพิ่มขึ้น (1%, 3% และ 5% โดยน้ำหนัก) [37-38]

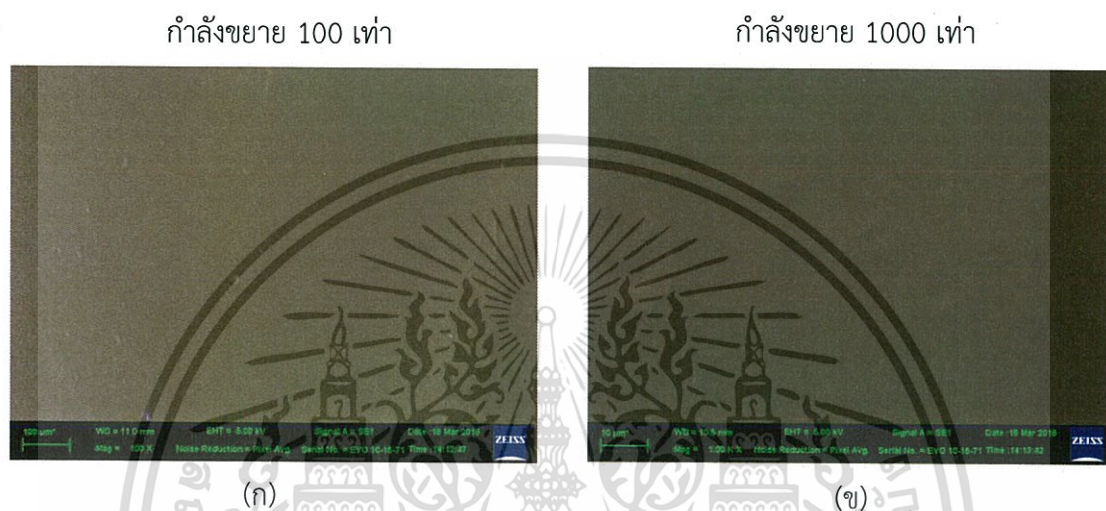


รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ (ก) TPCS (ข) TPCS-M1 (ค) TPCS-M3 และ (ง) TPCS-M5

สเปกตรัมของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท ในปริมาณต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของทุกสูตรมีโครงสร้างหลักที่คล้ายคลึงกันเป็นโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ พบว่าไม่มีความแตกต่างของสเปกตรัมและไม่พบพีคใหม่เกิดขึ้น

## 4.2 สัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท ในปริมาณต่างๆ ทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscopy, SEM) ที่กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวและลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง

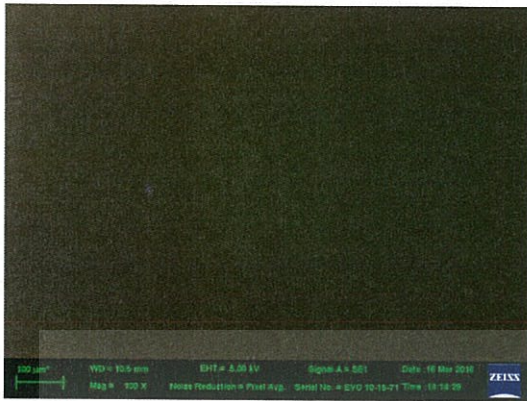


รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง (ก) TPCS กำลังขยาย 100 เท่า และ (ข) TPCS กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า พบว่า พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกันแต่ยังคงพบแป้งที่ไม่หลอมบ้างบางบริเวณ

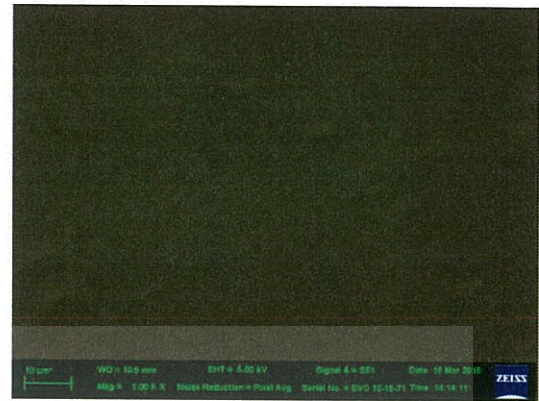
จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นถึงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกที่ปริมาณต่างๆ จากรูปที่ 4.5 (ก)-(ข) พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก 1% มีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกันแต่ยังพบแป้งที่ไม่หลอมบางส่วนแต่ จากรูปที่ 4.5 (ค)-(ง) สำหรับ TPCS-S3 และ (จ)-(ฉ) สำหรับ TPCS-S5 พบว่า พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มขึ้นเป็น 3% และ 5% ตามลำดับ พื้นผิวมีความเรียบลดลง ความสามารถในการหลอมของแป้งลดลงทำให้เห็นแป้งที่ยังไม่หลอมมากขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริก

กำลังขยาย 100 เท่า



(ก)

กำลังขยาย 1000 เท่า



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

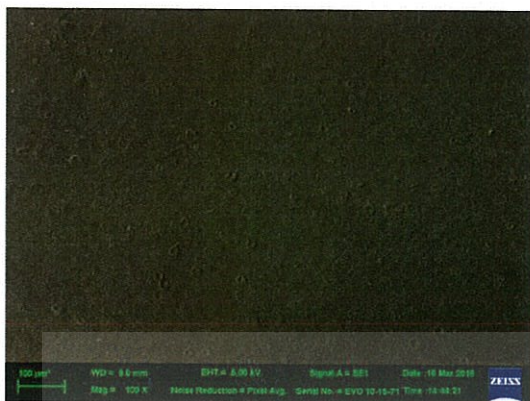


(ฉ)

รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกที่กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า (ก)-(ข) TPCS-S1 (ค)-(ง) TPCS-S3 และ (จ)-(ฉ) TPCS-S5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังขยาย 100 เท่า

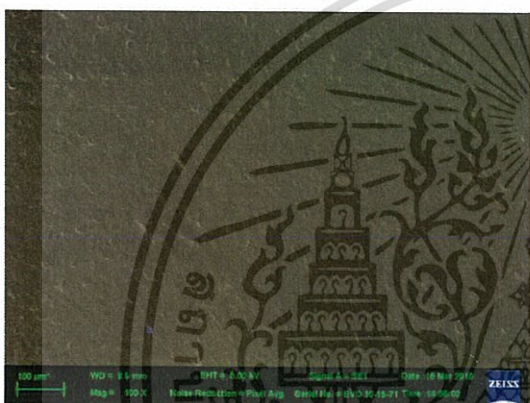


(ก)

กำลังขยาย 1000 เท่า



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

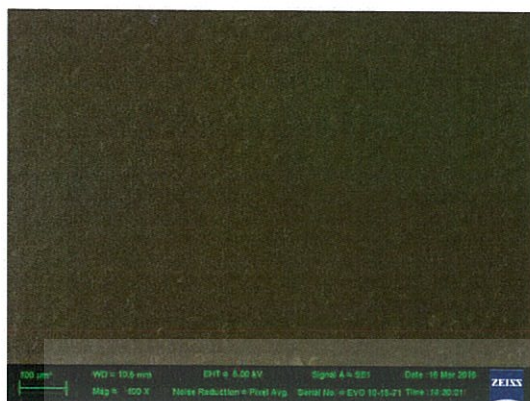


(ฉ)

รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า (ก)-(ข) TPCS-G1 (ค)-(ง) TPCS-G3 และ (จ)-(ฉ) TPCS-G5

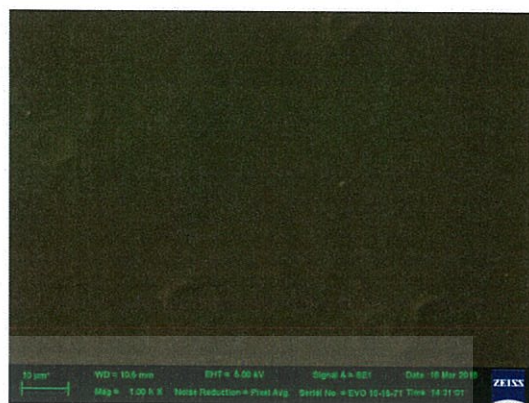
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังขยาย 100 เท่า



(ก)

กำลังขยาย 1000 เท่า



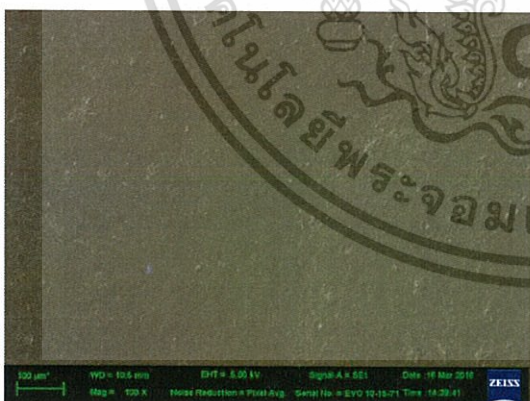
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทที่กำลังขยาย 100 และ 1000 เท่า (ก)-(ข) TPCS-M1 (ค)-(ง) TPCS-M3 และ (จ)-(ฉ) TPCS-M5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ จากรูปที่ 4.6 (ก)-(ข) สำหรับ TPCS-G1 พบแป้งที่ไม่หลอมบางส่วน แต่ยังคงมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกันแต่พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทเพิ่มขึ้นเป็น 3% และ 5% ตามลำดับ รูปที่ 4.6 (ค)-(ง) ความสามารถในการหลอมของแป้งและความเรียบของพื้นผิวลดลง จากการใช้กำลังขยาย 1000 เท่าพบว่าเห็นเม็ดแป้งชัดเจนมากขึ้น

รูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงลักษณะภาคตัดขวางของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ (รูปที่ 4.7) พบว่า พื้นผิวของ TPCS-M1 มีความเข้ากันได้ดีเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ยังคงพบบางส่วนของแป้งที่ไม่หลอมและจากรูปที่ 4.7 (ค)-(ง) สำหรับ TPCS-M3 และ รูปที่ 4.7 (จ)-(ฉ) สำหรับ TPCS-M5 พบว่า พื้นผิวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังมีความเรียบลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมสเตียเรทเพิ่มขึ้นเป็น 3% และ 5% ตามลำดับ ส่งผลให้ความสามารถในการหลอมของแป้งลดลง เห็นแป้งที่ยังไม่หลอมมากขึ้น

จากรูปที่ 4.5-4.7 พบว่า เมื่อปริมาณของกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการหลอมของแป้งและความเรียบลดน้อยลงและจากการเปรียบเทียบชนิดของสารพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรททำให้แป้งหลอมเป็นเนื้อเดียวกันได้น้อยที่สุด แต่แมกนีเซียมสเตียเรททำให้แป้งหลอมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีที่สุด

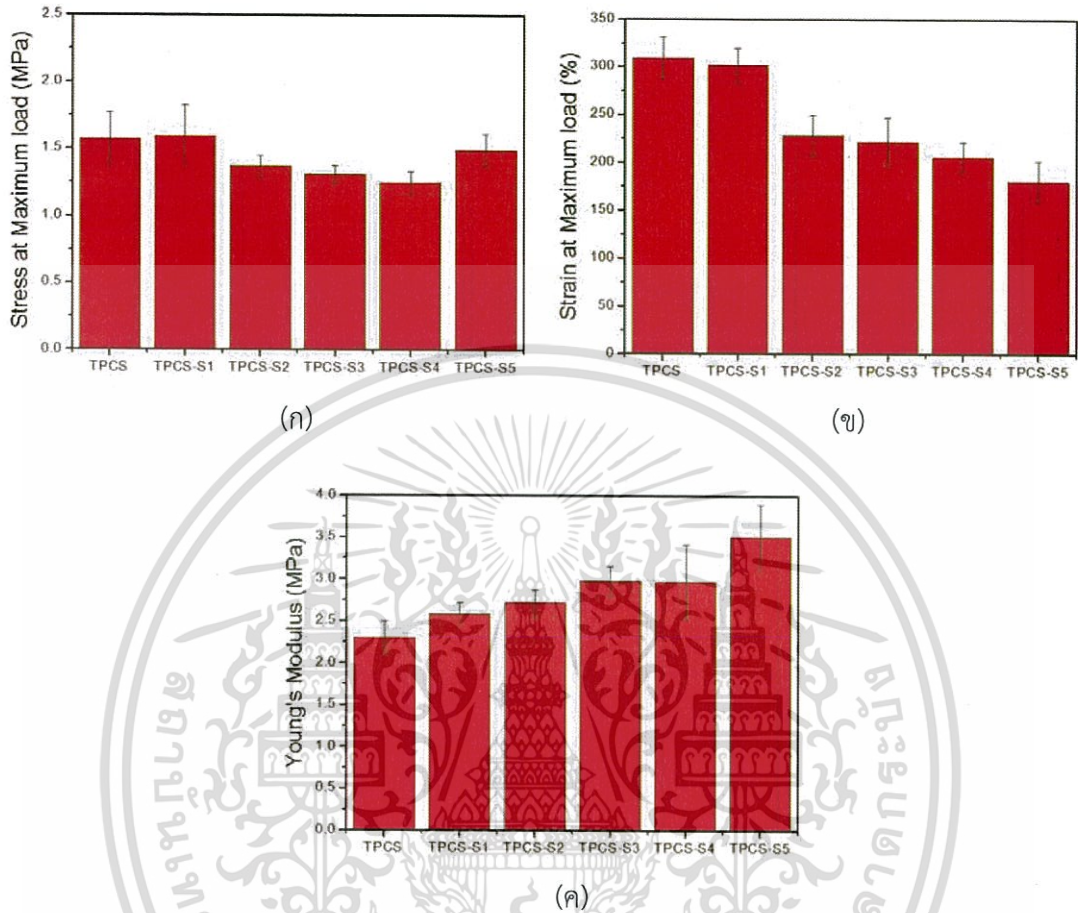
#### 4.3 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และมอดุลัส โดยพิจารณาจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มีกลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท ในปริมาณต่างๆ ให้ผลการทดลอง ดังนี้

จากรูปที่ 4.8 แสดงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่มีการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก ในปริมาณ 0% 1% 2% 3% 4% และ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่าความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริก ส่งผลให้ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกส่งผลให้ความสามารถในการหลอมของแป้งลดลง (ดังรูปที่ 4.5) ทำให้สมบัติเชิงกลความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ V.C.R Schmidt และคณะ

ได้ทำการศึกษาแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำกลั่นทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกใน  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ทางวิชาการเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ใน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

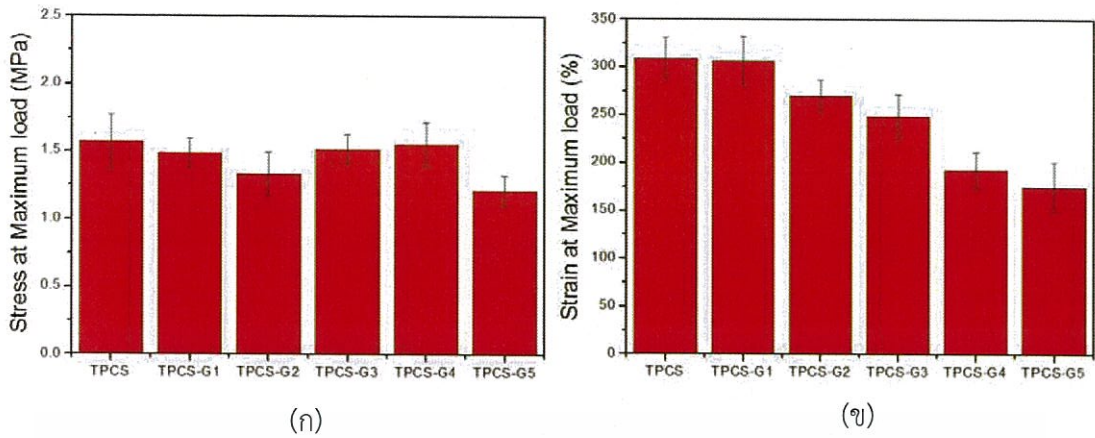
ความเข้มข้นร้อยละ 0, 5, 10, 15, และ 20 ตามลำดับ พบว่าความเข้มข้นของกรดสเตียริกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดึงและการดึงยืดมีค่าลดลง [34]



รูปที่ 4.8 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก ในปริมาณต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส

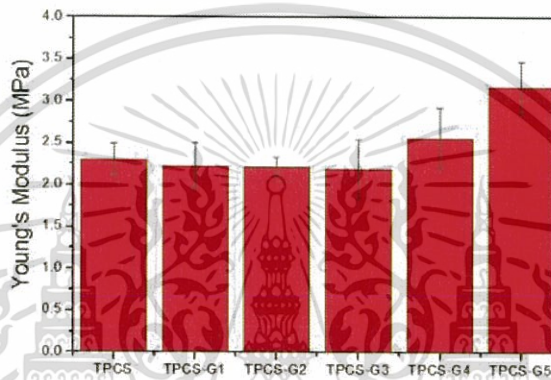
สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทในปริมาณต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท จึงทำให้ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทส่งผลให้ความสามารถในการหลอมของแป้งลดลง (รูปที่ 4.6) ทำให้ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ K. Lovedeep และคณะ ได้ศึกษา กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท ที่มีผลต่อสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวโพดพบว่ามีความยืดหยุ่น (Springness) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลงเมื่อผสมแป้งข้าวโพดกับกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้งแห้งในระบบแขวนลอย [33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

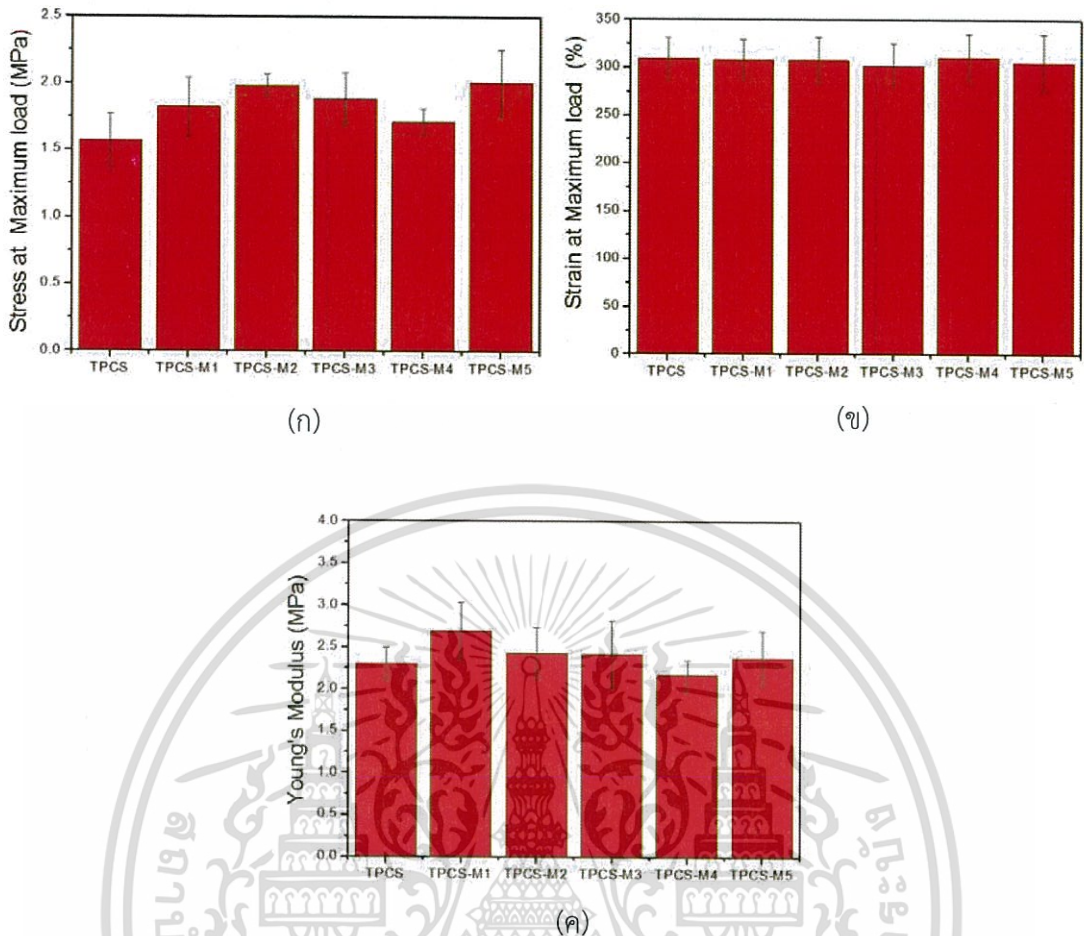
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.9 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทในปริมาณต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส

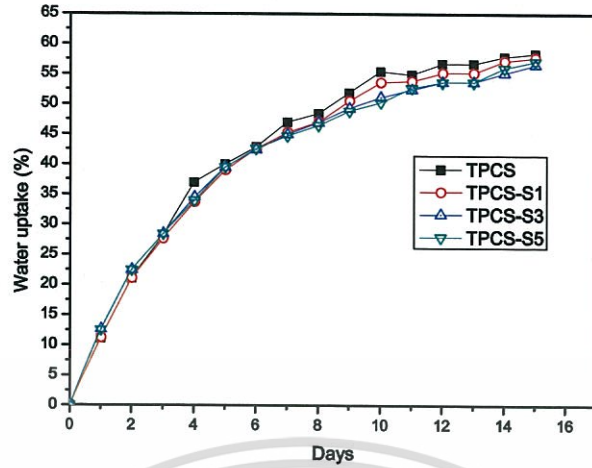
สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าค่าความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด ค่าความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และค่ามอดุลัสมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาสัมมนาวิทยาพบว่าการใช้แมกนีเซียมสเตียเรททำให้ความสามารถในการหลอมของแป้งดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารเติมแต่งชนิดอื่นและสมบัติเชิงกลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ใส่สารเติมแต่ง (ดังรูปที่ 4.7)



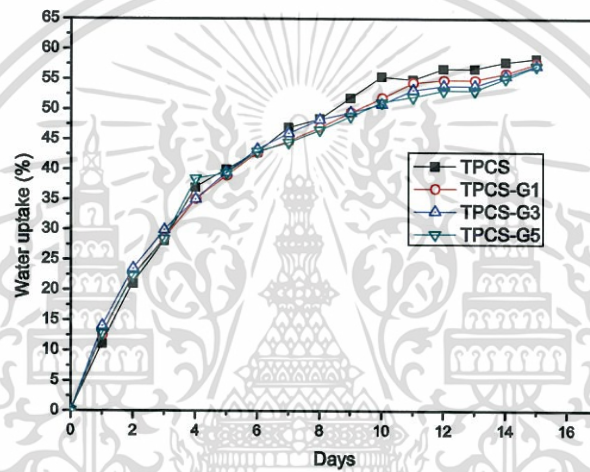
รูปที่ 4.10 สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส

#### 4.4 การดูดซับความชื้น

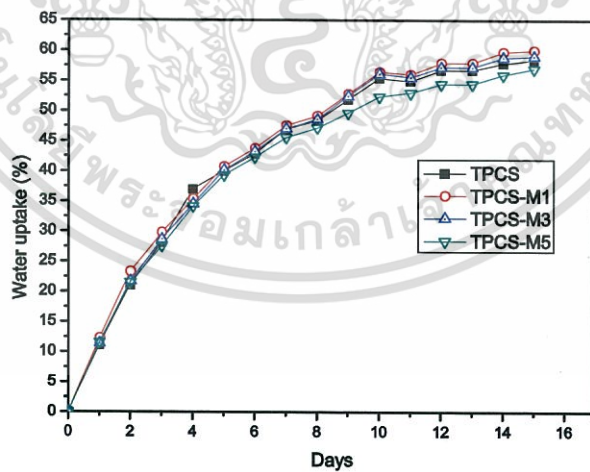
การดูดซับความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่นำมาปรับปรุงสมบัติด้วยสารเติมแต่ง ได้แก่ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท กรดสเตียริก และแมกนีเซียมสเตียเรท ภายใต้ช่วงความชื้นสัมพัทธ์  $81 \pm 2\%$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.11



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.11 เปรอ์เซ็นต์การดูดซับความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วย  
 (ก) กรดสเตรียริก (ข) กลีเซอรอลโมโนสเตรียเรท (ค) แมกนีเซียมสเตรียเรท ที่ปริมาณ  
 1%, 3% และ 5%

















เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 แสดงการดูดซับความชื้นของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท พบว่าในช่วง 5 วันแรกชิ้นงานมีการดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จากนั้นการดูดซับความชื้นมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ลดลง โดยพบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ทำการปรับปรุงด้วยสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มในการดูดซับความชื้นใกล้เคียงกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติ โดยพบว่าเมื่อเติมสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณ 5% มีแนวโน้มการดูดซับความชื้นที่ลดลงมากที่สุดเนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก 5% โดย M.Rovshandeh ศึกษาผลของกลีเซอรอลและกรดสเตียริกกับแป้งข้าวสาลี พบว่ากรดสเตียริก 5% ช่วยลดการดูดซับความชื้นได้ [39] และ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท 5% โดยเกศินี ตระกูลทิวากรและคณะศึกษาการทำฟิล์มที่รับประทานได้ พบว่าเมื่อใช้กลีเซอรอล 5% ช่วยลดการดูดซับความชื้นได้ [27] และแมกนีเซียมสเตียเรท 5% ทำให้การดูดซับความชื้นลดลงเนื่องจากมีความเข้ากันกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชได้ดีโดยจากโครงสร้างของทั้งกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท กรดสเตียริกและแมกนีเซียมสเตียเรท ที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ยาวซึ่งไม่มีขั้วเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ทำให้ลดการดูดความชื้นได้

#### 4.5 การย่อยสลายโดยการฝังดิน

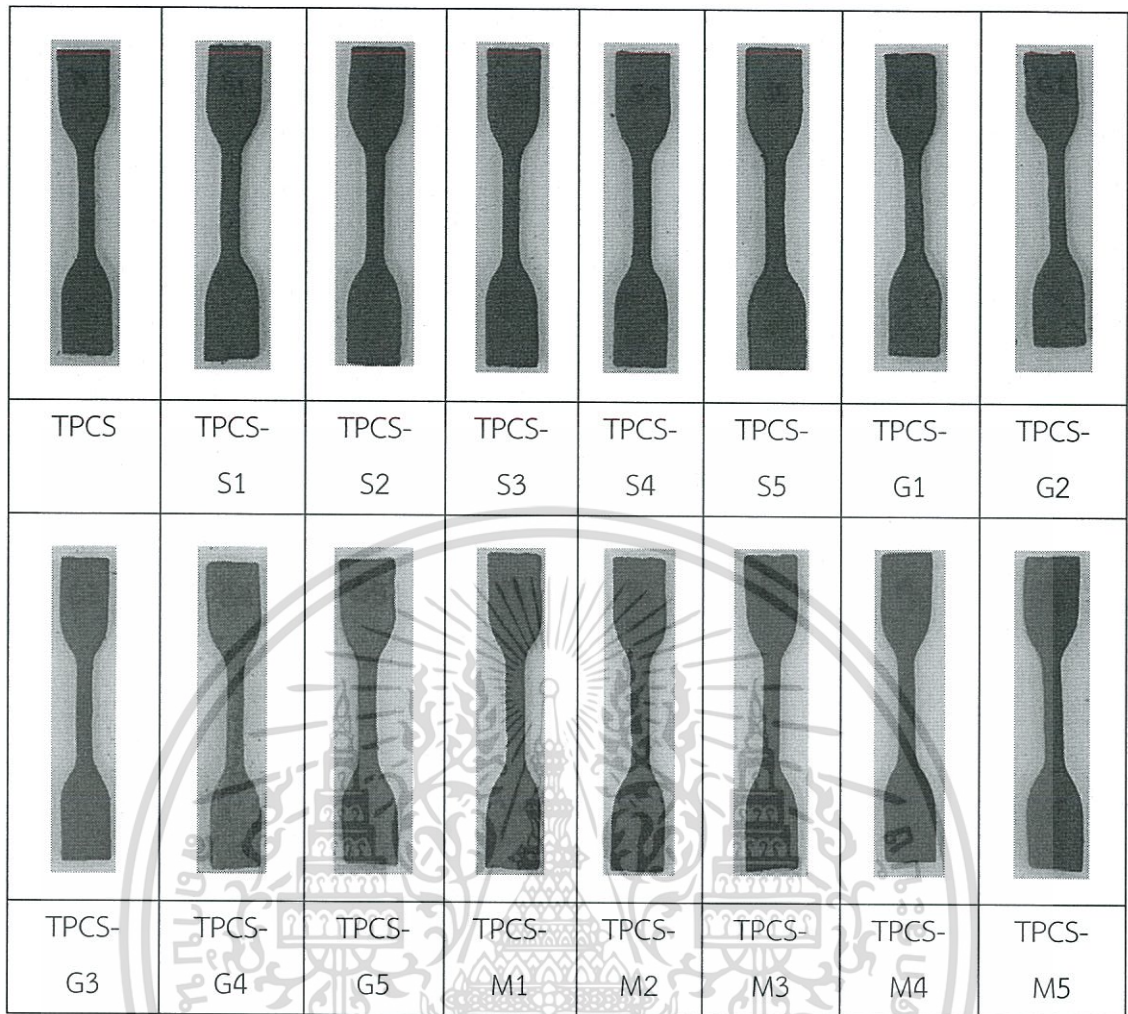
สมบัติการย่อยสลายทดสอบโดยการฝังดินสามารถทำได้โดยนำเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังโดยการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท ในปริมาณต่างๆ มาฝังดินและควบคุมความชื้นของดินที่ช่วง 5-7 % เป็นเวลา 5 วัน โดยลักษณะของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชก่อนและหลังการฝังดินแสดงในรูปที่ 4.12 – 4.13

จากรูปที่ 4.14 - 4.16 เมื่อพิจารณาการทดสอบสมบัติเชิงกลหลังการย่อยสลายด้วยการฝังดินเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ก่อนการฝังดิน พบว่าสมบัติเชิงกลหลังการย่อยสลายโดยการฝังดินเป็นเวลา 5 วัน ของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังทั้งที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติและปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท มีแนวโน้มลดลง ได้แก่ ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ โมดูลัส เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสามารถดูดความชื้นจากดินรวมทั้งการย่อยสลายจากจุลินทรีย์ในดิน ส่งผลให้ชิ้นงานมีความอ่อนตัว ง่ายต่อการฉีกขาด

|  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
|   |   |   |   |   |   |   |   |
| TPCS   | TPCS-<br>S1  | TPCS-<br>S2  | TPCS-<br>S3  | TPCS-<br>S4  | TPCS-<br>S5  | TPCS-<br>G1  | TPCS-<br>G2  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| TPCS-<br>G3  | TPCS-<br>G4  | TPCS-<br>G5  | TPCS-<br>M1  | TPCS-<br>M2  | TPCS-<br>M3  | TPCS-<br>M4  | TPCS-<br>M5  |

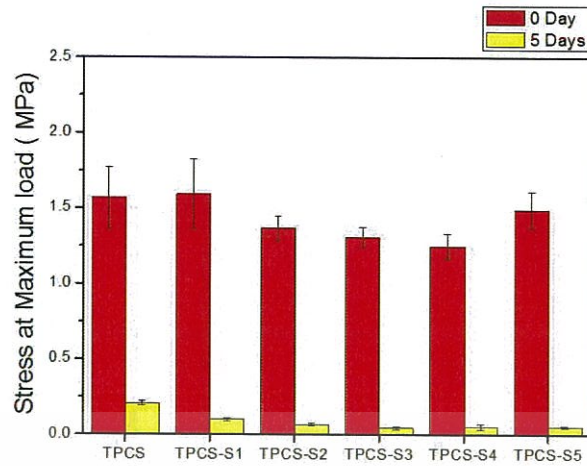
รูปที่ 4.12 ชิ้นงานรูปตัดเบลล์ก่อนการย่อยสลายโดยการฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

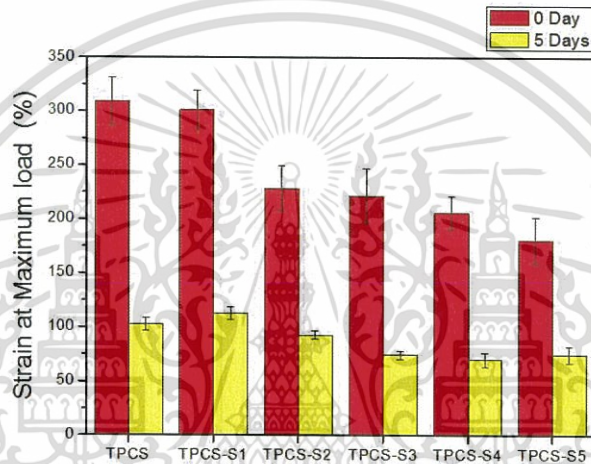


รูปที่ 4.13 ชิ้นงานรูปดัมเบลล์หลังการย่อยสลายโดยการฝังดินเป็นเวลา 5 วันของเทอร์โมพลาสติก-สตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยกรดเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท ที่ปริมาณต่างๆ

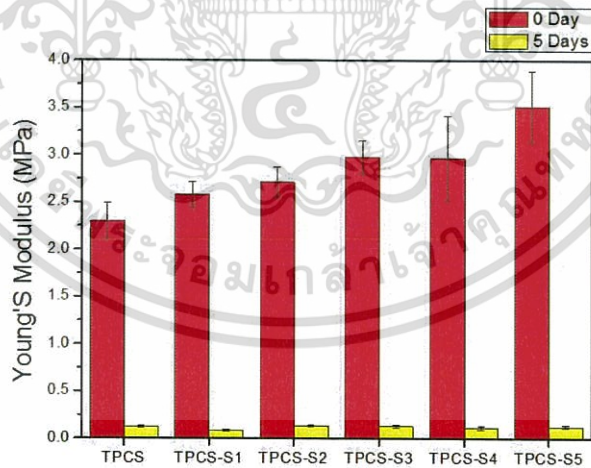
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีการปรับปรุงด้วยกรดเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรทกับสูตรที่ไม่มีการปรับปรุงพบว่ามีความเหนียวการย่อยสลายใกล้เคียงกันเนื่องจากหลังการย่อยสลายด้วยการฝังดินสมบัติเชิงกลในแต่ละตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



(ก)



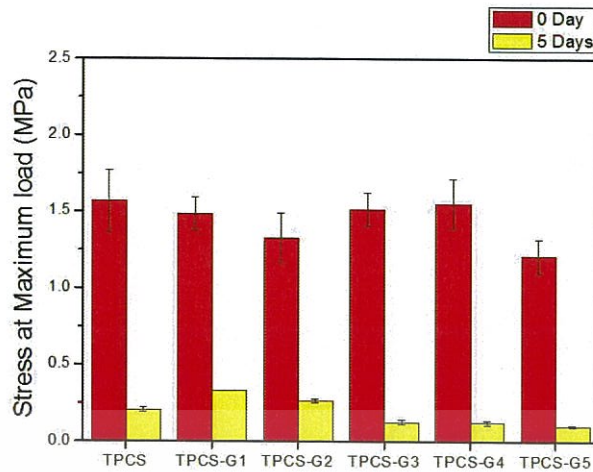
(ข)



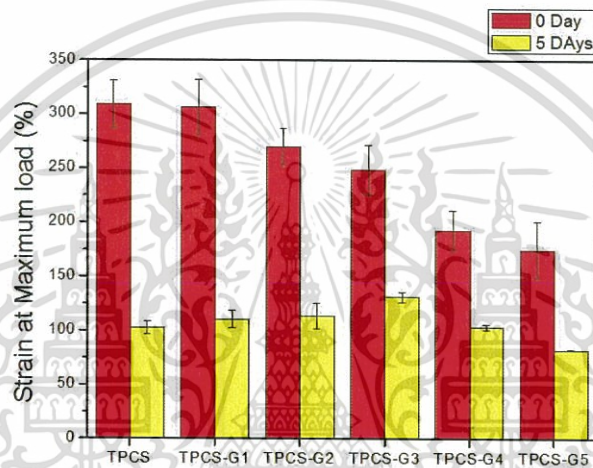
(ค)

รูปที่ 4.14 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกที่ปริมาณต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส

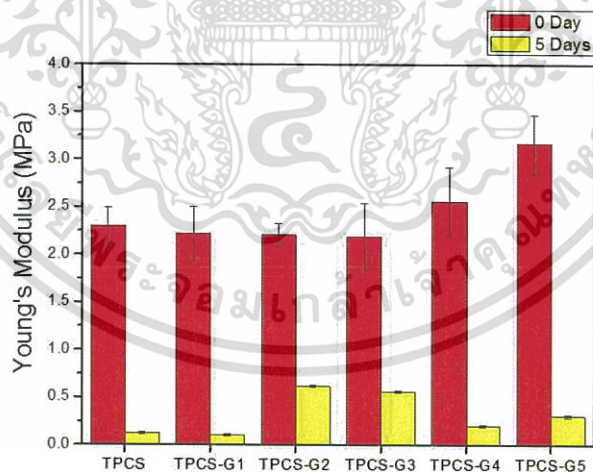
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



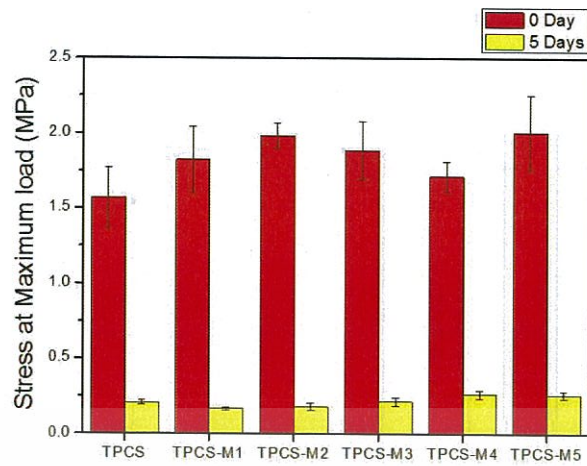
(ข)



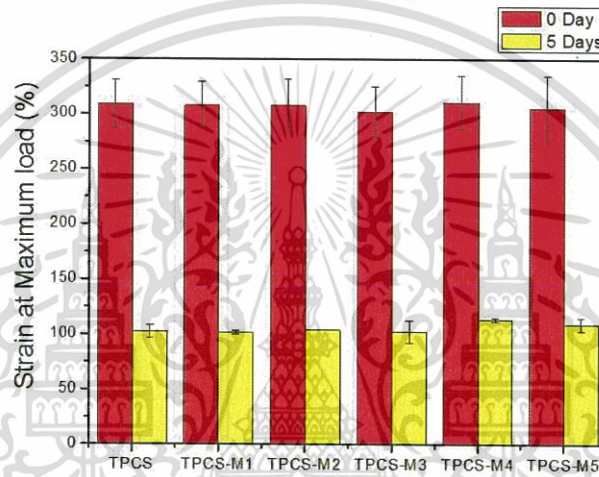
(ค)

รูปที่ 4.15 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอล-โมโนสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส

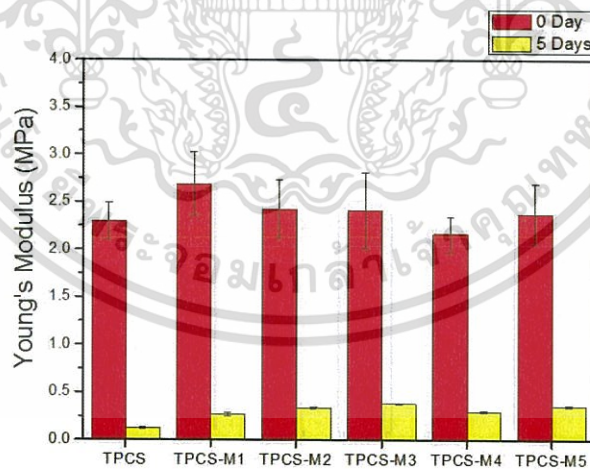
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.16 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังฝังดินของเทอร์โมพลาสติกสตาซซีที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียม-สเทียเรทที่ปริมาณต่างๆ (ก) ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด (ข) ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด และ (ค) มอดุลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 การวัดสี (Color Measurements)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรท ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อวัดค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$   $C^*$  และ  $H^\circ$  แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3-4.5

ตารางที่ 4.3 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก

| ตัวอย่าง | ค่าการเปลี่ยนแปลงสี |       |       |       |           |
|----------|---------------------|-------|-------|-------|-----------|
|          | $L^*$               | $a^*$ | $b^*$ | $C^*$ | $H^\circ$ |
| TPCS     | 29.48               | 0.20  | 2.30  | 2.66  | 85.10     |
| TPCS-S1  | 27.99               | 1.59  | 3.22  | 6.43  | 63.72     |
| TPCS-S2  | 33.90               | 1.61  | 4.38  | 10.87 | 69.76     |
| TPCS-S3  | 42.64               | 1.73  | 8.71  | 39.47 | 78.75     |
| TPCS-S4  | 43.68               | 1.72  | 9.01  | 47.35 | 79.85     |
| TPCS-S5  | 44.67               | 1.73  | 9.17  | 47.58 | 79.33     |

หมายเหตุ ค่า  $L^*$  กำหนดค่าความสว่าง ค่า  $a^*$  กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ( $a^* > 1$  แสดงสีแดง,  $a^* < 1$  แสดงสีเขียว) ค่า  $b^*$  กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ( $b^* > 1$  แสดงสีเหลือง,  $b^* < 1$  แสดงสีน้ำเงิน) ค่า  $C^*$  แสดงค่าความสดใสของสี และค่า  $H^\circ$  เป็นตัวเลขระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

##### ค่าความสว่าง ( $L^*$ )

จากตารางที่ 4.3 พบว่า TPCS-S5 มีค่าความสว่างมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-S4 และ TPCS-S3 รองลงมาเป็น TPCS-S2 TPCS และ TPCS-S1 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกมีแนวโน้มความสว่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดสเตียริกที่เพิ่มขึ้น

##### ค่า $a^*$

พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกมีสีออกป้ทางสีแดงโดย TPCS-S5 TPCS-S4 TPCS-S3 TPCS-S2 และ TPCS-S1 มีค่า  $a^*$  ใกล้เคียงกัน โดย TPCS มีค่าความเป็นสีแดงต่ำที่สุด ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกแสดงสีไปทางสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $b^*$

พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกมีสีออกไปทางสีเหลืองโดย TPCS-S5 แสดงสีเหลืองมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-S4 และ TPCS-S3 สูตรอื่น ๆ มีค่าความเป็นสีเหลืองลดลงได้แก่ TPCS-S2 TPCS-S1 และ TPCS ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกแสดงสีไปทางสีเหลืองเพิ่มขึ้น

ค่า  $C^*$

พบว่า TPCS-S5 มีค่าความสดใสของสีมากที่สุดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-S4 และ TPCS-S3 ลงลงมาเป็น TPCS-S3 TPCS-S1 และ TPCS ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกทำให้ชิ้นงานตัวอย่างมีความสดใสของสีเพิ่มขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ

ค่า  $H^\circ$

พบว่าค่าตำแหน่งของสี เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ พบว่าเมื่อปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกทำให้ชิ้นงานตัวอย่างมีค่า  $H^\circ$  ลดลง โดย TPCS-S4 และ TPCS-S5 มีค่า  $H^\circ$  สูงสุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-S3 ตามด้วย TPCS-S2 และ TPCS-S1 ตามลำดับ ซึ่งค่า  $H^\circ$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มขึ้น โดยภาพรวมชิ้นงานตัวอย่างมีสีออกไปทางสีส้มแดง

ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกในปริมาณ 1 – 5 % โดยน้ำหนักของแบ่ง พบว่ากรดสเตียริกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล โดยส่งผลให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ )  $a^*$   $b^*$  และ  $C^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดสเตียริกที่เพิ่มขึ้น และค่า  $H^\circ$  อยู่ในช่วง  $45-90^\circ$  แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ TPCS จึงสรุปได้ว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกจะมีสีออกไปทางสีส้มแดง

ตารางที่ 4.4 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

| ตัวอย่าง | ค่าการเปลี่ยนแปลงสี |      |      |       |       |
|----------|---------------------|------|------|-------|-------|
|          | L*                  | a*   | b*   | C*    | H°    |
| TPCS     | 29.48               | 0.20 | 2.30 | 2.66  | 85.10 |
| TPCS-G1  | 31.45               | 2.61 | 4.68 | 14.34 | 60.87 |
| TPCS-G2  | 36.50               | 3.35 | 8.23 | 40.48 | 66.09 |
| TPCS-G3  | 39.58               | 3.41 | 8.44 | 41.57 | 67.69 |
| TPCS-G4  | 39.96               | 3.44 | 8.74 | 43.76 | 69.09 |
| TPCS-G5  | 41.63               | 3.65 | 8.75 | 43.70 | 69.01 |

หมายเหตุ ค่า L\* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a\* กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ( $a^* > 1$  แสดงสีแดง,  $a^* < 1$  แสดงสีเขียว) ค่า b\* กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ( $b^* > 1$  แสดงสีเหลือง,  $b^* < 1$  แสดงสีน้ำเงิน) ค่า C\* แสดงค่าความสดใสของสี และค่า H° เป็นตัวเลขระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

#### ค่าความสว่าง (L\*)

สูตร TPCS-G5 มีค่าความสว่างมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-G4 และ TPCS-G3 สูตรอื่น ๆ มีค่าความสว่างลดลงได้แก่ TPCS-G2 TPCS-G1 และ TPCS ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 4.4 ดังนั้นค่าความสว่างของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

#### ค่า a\*

เทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทมีค่า a\* เป็นบวก มีสีออกไปทางสีแดงโดย TPCS-G5 แสดงสีแดงมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-G4 TPCS-G3 และ TPCS-G2 ตามลำดับ ในสูตร TPCS-G1 และ TPCS มีค่าความเป็นสีแดงลดลงตามลำดับ ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจะมีสีแดงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

#### ค่า b\*

ค่า b\* มีค่าเป็นบวกทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทมีแนวโน้มสีออกไปทางสีเหลืองโดย TPCS-G5 แสดงสีเหลืองมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-G4 TPCS-G3 และ TPCS-G2 ตามลำดับ ในสูตร TPCS-G1 และ TPCS มีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจะมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

#### ค่า C\*

สูตร TPCS-G5 มีค่าความสดใสของสีมากที่สุดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-G4 ลองลงมาเป็น TPCS-G3 และ TPCS-G2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และในสูตร TPCS-G1 และ TPCS มีค่าความสดใสของสีลดลงตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติขึ้นงานตัวอย่างมีความสดใสของสีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

#### ค่า H°

พบว่าค่าตำแหน่งของสี เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ พบว่าค่า H° มีค่าลดลง โดย TPCS-G5 มีค่า H° สูงสุดใกล้เคียงกับ TPCS-G4 และมีค่าลดลง TPCS-G3 TPCS-G2 และ TPCS-G1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทพบว่าค่า H° มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่เพิ่มขึ้น โดยภาพรวมขึ้นงานตัวอย่างมีสีออกปาทาสีส้มแดง

ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทในปริมาณ 1 – 5 % โดยน้ำหนักของแป้ง พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเติมกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท โดยส่งผลให้ค่าความสว่าง(L\*) a\* b\* และ C\* มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และค่า H° อยู่ในช่วง 45-90° ซึ่งมีค่าลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับ TPCS จึงสรุปได้ว่าเทอร์โมพลาสติกสตาบิลมีสีออกปาทาสีส้มแดงเมื่อทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

ตารางที่ 4.5 ค่าการวัดสีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท

| ตัวอย่าง | ค่าการเปลี่ยนแปลงสี |      |       |       |       |
|----------|---------------------|------|-------|-------|-------|
|          | L*                  | a*   | b*    | C*    | H°    |
| TPCS     | 29.48               | 0.20 | 2.30  | 2.66  | 85.10 |
| TPCS-M1  | 30.55               | 1.11 | 8.42  | 37.80 | 82.68 |
| TPCS-M2  | 37.51               | 1.80 | 8.62  | 37.09 | 77.94 |
| TPCS-M3  | 40.31               | 2.43 | 12.10 | 48.88 | 78.38 |
| TPCS-M4  | 41.78               | 2.51 | 12.39 | 55.48 | 77.86 |
| TPCS-M5  | 42.55               | 3.48 | 12.65 | 56.08 | 74.62 |

หมายเหตุ ค่า L\* กำหนดค่าความสว่าง ค่า a\* กำหนดสีเหลืองหรือสีเขียว ( $a^* > 1$  แสดงสีแดง,  $a^* < 1$  แสดงสีเขียว) ค่า b\* กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ( $b^* > 1$  แสดงสีเหลือง,  $b^* < 1$  แสดงสีน้ำเงิน) ค่า C\* แสดงค่าความสดใสของสี และค่า H° เป็นตัวเลขระบุตำแหน่งของสีเทียบกับมาตรฐาน

ค่าความสว่าง (L\*)

TPCS-M5 มีค่าความสว่างมากที่สุด และสูตรอื่น ๆ มีค่าความสว่างลดลงได้แก่ TPCS-M4 TPCS-M3 TPCS-M2 TPCS-M1 และ TPCS ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้น แสดงในตารางที่ 4.5

ค่า a\*

a\* มีค่าเป็นบวกทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมีสีออกไปทางสีแดงโดย TPCS-M5 แสดงสีแดงมากที่สุด และสูตรอื่น ๆ มีค่าความเป็นสีแดงลดลงได้แก่ TPCS-M4 TPCS-M3 TPCS-M2 TPCS-M1 และ TPCS ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทแสดงสีไปทางสีแดงเพิ่มขึ้น

ค่า b\*

เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมีสีออกไปทางสีเหลืองโดย TPCS-M5 แสดงสีเหลืองมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-M4 และ TPCS-M3 สูตรอื่น ๆ มีค่าความเป็นสีเหลืองลดลงได้แก่ TPCS-M2 และ TPCS-M1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และ TPCS มีค่าที่แสดง

ความเป็นสีเหลืองต่ำที่สุด ทั้งนี้พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการปรับปรุงสมบัติด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมกนีเซียมสเตียเรทแสดงสีไปทางสีเหลืองเพิ่มขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติแม้จะใส่ในปริมาณที่น้อยก็ตาม

ค่า  $C^*$

TPCS-M5 มีค่าความสดใสของสีมากที่สุดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-M4 ลงลงมาเป็น TPCS-M3 และ TPCS-M2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ TPCS-M1 และ TPCS มีค่าความสดใสของสีต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมสเตียเรททำให้ชิ้นงานตัวอย่างมีความสดใสของสีเพิ่มขึ้นมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ

ค่า  $H^\circ$

ค่าตำแหน่งของสี เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ พบว่าค่า  $H^\circ$  มีค่าลดลง และค่า  $H^\circ$  มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมสเตียเรท (1%, 3% และ 5% โดยน้ำหนัก) เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท พบว่าชิ้นงานตัวอย่างที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมีสีออกไปทางสีเหลืองมากที่สุด

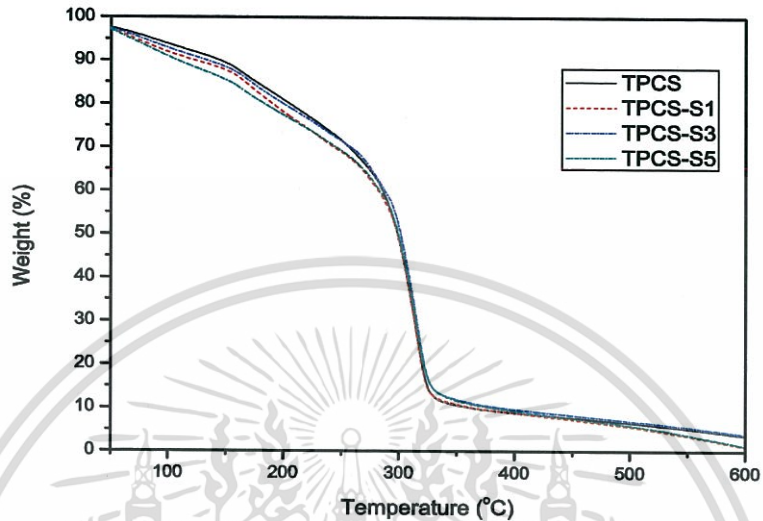
ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทส่งผลให้ชิ้นงานตัวอย่างมีสีที่เปลี่ยนแปลงไป โดยแมกนีเซียมสเตียเรทส่งผลให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ )  $a^*$   $b^*$  และ  $C^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแมกนีเซียมสเตียเรทเพิ่มขึ้น และค่า  $H^\circ$  อยู่ในช่วง  $45-90^\circ$  ซึ่งมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ TPCS จึงสรุปได้ว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมีสีออกไปทางสีส้มแดงซึ่งมีความเข้มของสีมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

#### 4.8 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

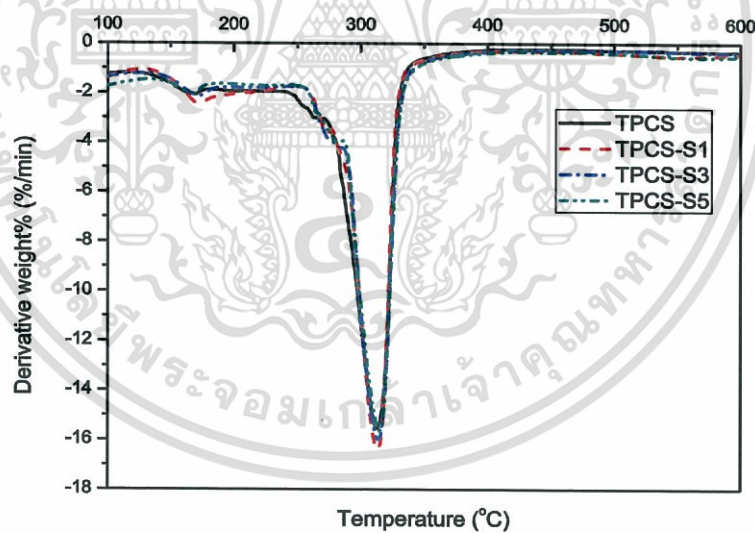
สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลได้มีการศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature,  $T_d$ ) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป (%Weight loss) ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลและเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยสารเติมแต่ง (Additive) ได้แก่ กรดสเตียริก, กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียม-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเต็มเรทที่ปริมาณ 1%, 3% และ 5% ตามลำดับ ด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนาไลเซอร์ (Thermogravimetric analyzer, TGA) ให้ผลดังรูปที่ 4.17-4.19 และตารางที่ 4.6 ตามลำดับ



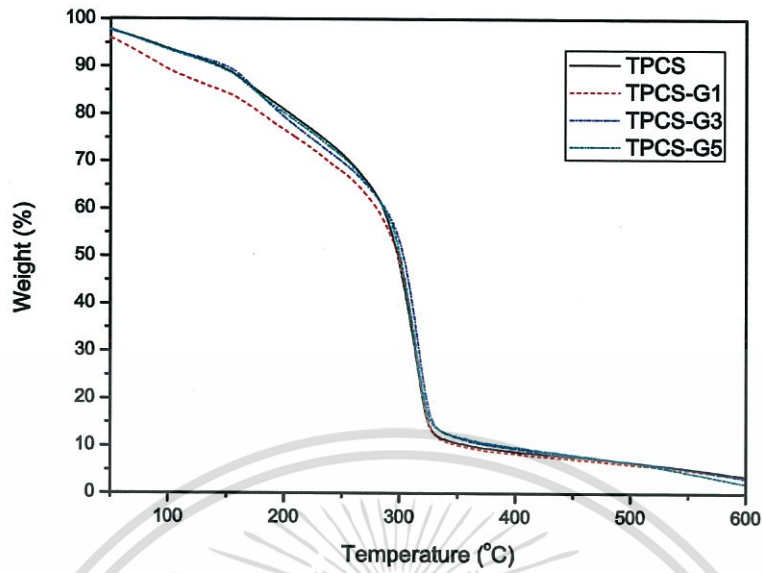
(ก)



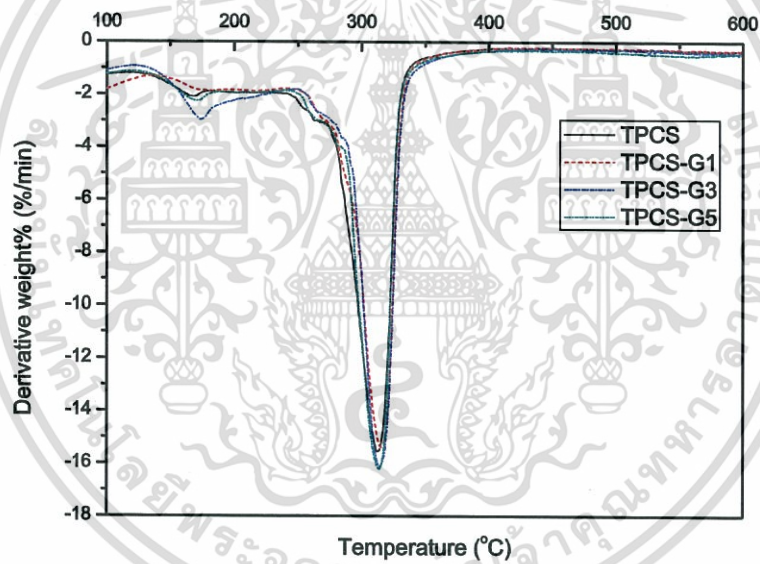
(ข)

รูปที่ 4.17 (ก) TGA และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของและเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก ปริมาณ 1%, 3%, 5% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



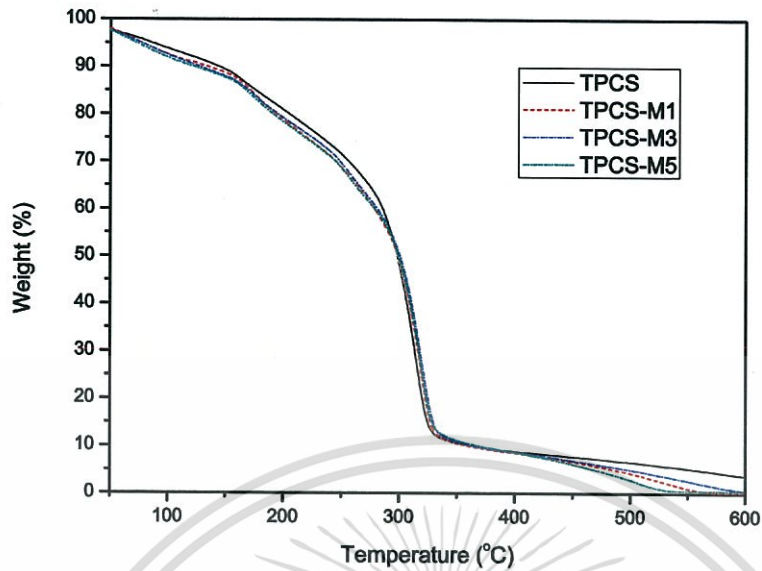
(ก)



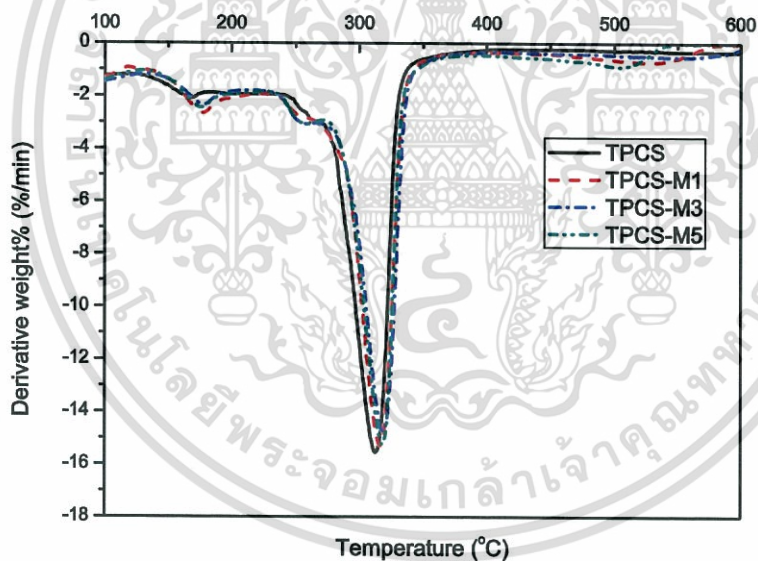
(ข)

รูปที่ 4.18 (ก) TGA และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ทำการปรับปรุงสมบัติ ด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท ปริมาณ 1%, 3%, 5% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 (ก) TGA และ (ข) DTG เทอร์โมแกรมของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทที่ปริมาณ 1%, 3%, 5% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตรียริก กลีเซอรอลโมโนสเตรียเรท และแมกนีเซียมสเตรียเรท ปริมาณ 1%, 3%, 5% ตามลำดับ

| ตัวอย่าง | อุณหภูมิเริ่มต้นสลายตัว ( $^{\circ}\text{C}$ ) |                  | % น้ำหนักที่หายไป (แป้ง) |
|----------|--|------------------|--------------------------|
|          | ช่วงที่ 1 (กลีเซอรอล)                          | ช่วงที่ 2 (แป้ง) |                          |
| TPCS     | 167.8  | 312.4            | 61.6                     |
| TPCS-S1  | 172.5  | 312.8            | 60.2                     |
| TPCS-S3  | 171.4  | 313.3            | 57.3                     |
| TPCS-S5  | 166.8  | 314.2            | 57.3                     |
| TPCS-G1  | 199.5  | 315.0            | 57.2                     |
| TPCS-G3  | 173.5  | 314.5            | 59.7                     |
| TPCS-G5  | 170.7  | 313.6            | 58.0                     |
| TPCS-M1  | 176.3  | 315.8            | 56.7                     |
| TPCS-M3  | 177.4  | 318.1            | 55.6                     |
| TPCS-M5  | 175.3  | 317.9            | 53.4                     |

จากรูปที่ 4.17-4.19 และตารางที่ 4.6 พบว่าเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติมีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 เป็นการสลายตัวของกลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่อุณหภูมิ  $167.8^{\circ}\text{C}$  [40-41] และช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ  $312.5^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของแป้ง [42] เมื่อมีการปรับปรุงสมบัติด้วยการเติมสารเติมแต่ง ได้แก่ กรดสเตรียริก กลีเซอรอลโมโนสเตรียเรท และแมกนีเซียมสเตรียเรท ปริมาณ 1%, 3% และ 5% ตามลำดับ ไม่พบอุณหภูมิสลายตัวของสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิด และพบว่าเมื่อเติมกรดสเตรียริกและเอกซสาร์เป็นเอกซสาร์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทลงไปในเทอร์โมพลาสติกสตาเรซทำให้ อุณหภูมิการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาเรซมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อทำการเติมแมกนีเซียมสเตียเรทลงไปในเทอร์โมพลาสติกสตาเรซพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาเรซมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก %น้ำหนักที่หายไปของแป้งพบว่า เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งลงไปเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ทำการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทมีแนวโน้ม %น้ำหนักของแป้งที่หายไปลดลงแต่ไม่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ทำการปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมี %น้ำหนักแป้งที่หายไปลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติแสดงดงเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิการสลายตัวของแป้งที่เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่มี กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมระบบปิด ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการกดอัด และทำการปรับปรุงสมบัติด้วยสารเติมแต่ง ได้แก่ กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรท ในปริมาณ 0%, 1%, 2%, 3%, 4% และ 5% โดยน้ำหนักของแป้ง ซึ่งสรุป ผลการวิจัยได้ดังนี้

1. จากการศึกษาการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า เทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท พบพีคใหม่ที่  $1705\text{ cm}^{-1}$  และ  $1740\text{ cm}^{-1}$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นของ C=O Stretching ของหมู่ คาร์บอกซิล และเอสเทอร์ ตามลำดับ ส่วนเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงสมบัติด้วย แมกนีเซียมสเตียเรทให้สเปกตรัมที่ไม่แตกต่างจากสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติเนื่องจากแมกนีเซียม- สเตียเรทเป็นสารอนินทรีย์จึงไม่พบการสั่นของ C=O Stretching ของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ในโมเลกุล ของแมกนีเซียมสเตียเรท

2. จากการศึกษาลักษณะสัญญาณวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเมื่อ ปริมาณของกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และ แมกนีเซียมสเตียเรทเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ความสามารถในการหลอมของแป้งลดลงเนื่องจากเมื่อเติมสารเติมแต่งขณะผสมในเครื่องผสมระบบปิด ส่งผลให้แรงเฉือนและความร้อนของระบบลดลงและเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียม- สเตียเรททำให้แป้งหลอมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารเติมแต่งชนิดอื่น

3. จากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มลดลง และ โมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท เนื่องจากอนุภาค ของเม็ดแป้งที่ไม่ได้หลอมไปขัดขวางความสามารถในการดึงยึดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ ส่วน สมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่มีการปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมีค่าไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากการศึกษาสมบัติการดูดซับความชื้นพบว่า การปรับปรุงสมบัติด้วยสารเติมแต่งทั้ง 3 ชนิดทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลดูดซับความชื้นต่ำกว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติเล็กน้อย เนื่องจากสารเติมแต่งมีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิกช่วยในการลดการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล

5. จากการศึกษาสมบัติการย่อยสลายด้วยการฝังดิน พบว่าสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลหลังการย่อยสลายด้วยการฝังดินลดลงเนื่องจากเทอร์โมพลาสติกสตาโรลสามารถดูดความชื้นจากดินส่งผลให้ชิ้นงานมีความอ่อนตัว ง่ายต่อการฉีกขาดโดยมีแนวโน้มการย่อยสลายใกล้เคียงกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ไม่ได้ปรับปรุงจึงสรุปได้ว่าเทอร์โมพลาสติกสตาโรลสามารถย่อยสลายได้ด้วยการฝังดิน

6. จากการศึกษาของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ พบว่าสูตรที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรท มีสีออกไปทางสีส้มแดง และสีมีความเข้มมากขึ้นเมื่อปริมาณสารเติมแต่งทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้น โดยเทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทมีสีออกไปทางสีส้มแดงแล้วมีความเข้มของสีมากที่สุด

7. จากการศึกษาสมบัติเสถียรภาพทางความร้อนพบว่า การเติมกรดสเตียริกและกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทไม่ทำให้อุณหภูมิสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลเปลี่ยนแปลง แต่แมกนีเซียมสเตียเรททำให้อุณหภูมิสลายตัวของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

8. จากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลโดยใช้กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทพบว่า TPCS-M5 เป็นสูตรที่ดีที่สุดโดยมีการหลอมของแป้งที่ดี มีการดูดซับความชื้นลดลง มีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น และมีสมบัติเชิงกลไม่เปลี่ยนแปลง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลจากแป้งมันสำปะหลังที่ทำการปรับปรุงสมบัติด้วย กรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆสามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาให้มีสมบัติต่างๆ ที่ดีขึ้นได้โดย

1. ปรับกระบวนการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression molding) อาจเปลี่ยนไปใช้กระบวนการขึ้นรูปอื่นๆ เช่น กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) และการอัดรีด (Extrusion) เป็นต้น เพื่อเพิ่มแรงเฉือน (Shear stress) ซึ่งจะช่วยให้สารเติมแต่งกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น

2. ใช้ส่วนเสริมแรงอื่นเข้ามาช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆให้ดีขึ้น เช่น เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ หรืออนุภาคอื่นๆ

3. เปลี่ยนชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้ โดยอาจเลือกใช้กลุ่มของแอลกอฮอล์ ไขมัน (Fatty alcohol) เช่น เซตทิล แอลกอฮอล์ (Cetyl alcohol) เฮกซะเดเคนอล (Hexadecanol) และ เพนตะเดนอล (Pentadecanol) เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1]บทความออนไลน์ “พลาสติกรีชีวภาพ ( Bioplastic)”. [Online]. Available: <http://library.dip.go.th/Industrial%20Innovation/www/innonew0-01.html>. (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558).
- [2]บทความออนไลน์ “มันสำปะหลังเพื่ออาหารและพลังงานทดแทนของโลก”. [Online]. Available : [http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/04-plant/prapart/plant\\_00.html](http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/04-plant/prapart/plant_00.html). (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558).
- [3]รุติมา วีระศิลป์. 2554. มันสำปะหลัง. สำนักพิมพ์ส่งเสริมพืชไร่และพืชสวนไทย.
- [4]บทความออนไลน์ “แป้งกลายเป็นพลาสติกได้อย่างไร”. [Online]. Available: [http://www.thaitapiocastarch.org /article26\\_th.asp](http://www.thaitapiocastarch.org /article26_th.asp). (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558).
- [5]Schmidt V.C.R., Portoa L.M., Laurindoa J.B., and Menegalli F.C.. “Water vapor barrier and mechanical properties of starch films containing stearic acid”. Industrial Crops and Products 41 (2013) 227–234.
- [6]กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [7]เคมีของแป้งและคาร์โบไฮเดรต [online]. Available : <http://eu.lib.kmutt.ac.th/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 9 พฤศจิกายน 2558)
- [8]โครงสร้างเม็ดแป้ง [Online]. Available : <http://www1.lsbu.ac.uk> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 9 พฤศจิกายน 2558)
- [9]การคั้นตัวของแป้ง [Online] : Available : <http://www.nationalstarch.com> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [10]ความหนืดของแป้ง [Online]. Available : <http://www.ftns.wau.nl> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [11]แป้งมันสำปะหลังในประเทศไทย [Online]. Available : <http://kasetinfo.arda.or.th/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [12]องค์ประกอบทางเคมีของแป้งและคาร์โบไฮเดรต [online]. Available : <http://kb.psu.ac.th/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 10 มีนาคม 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13]อารีญา หาญชนะ.2558. “ผลของซีลีเนียมจากไม้สะเดาที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรล และเทอร์โมพลาสติกสตาโรลแอซิเทตจากแป้งมันสำปะหลัง” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีพอลิเมอร์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [14]ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้งาน พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ[online].Available : <http://lib3.dss.go.th/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 9 พฤศจิกายน 2558)
- [15]Bioplastics : The Choice of Sustainable Life. [Online]. Available : <http://www.stou.ac.th> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [16]อรอุษา สรวารี. สารเติมแต่งพอลิเมอร์. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [17]Glycerol. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [18]โครงสร้างกลีเซอรอล [Online]. Available : <http://www.nutrientsreview.com/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 23 มีนาคม 2559)
- [19]สมศักดิ์ วรมงคลชัย. สารปรับแต่งพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
- [20]Magnesium stearate. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [21]กรดสเตียริก.[Online]. Available : <http://www.chemipan.com/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 11 ธันวาคม 2558)
- [22]โครงสร้างกรดสเตียริก.[Online]. Available : <http://www.chemspider.com/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 11 ธันวาคม 2558 )
- [23]สมบัติของกรดสเตียริก.[Online]. Available : <https://en.wikipedia.org> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 11 ธันวาคม 2558)
- [24]Glycerol monostearate. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [25]GMS/ GLYCERYL MONO STEARATE. [Online]. Available : <http://saguanchaichem.com> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 29 ตุลาคม 2558)
- [26]กชิติศ อิมประไพ และคณะ.2553. “การศึกษาคุณสมบัติทางกลและกายภาพของฟิล์มบริโกลด์ได้จาก แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง”.โครงการพิเศษคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

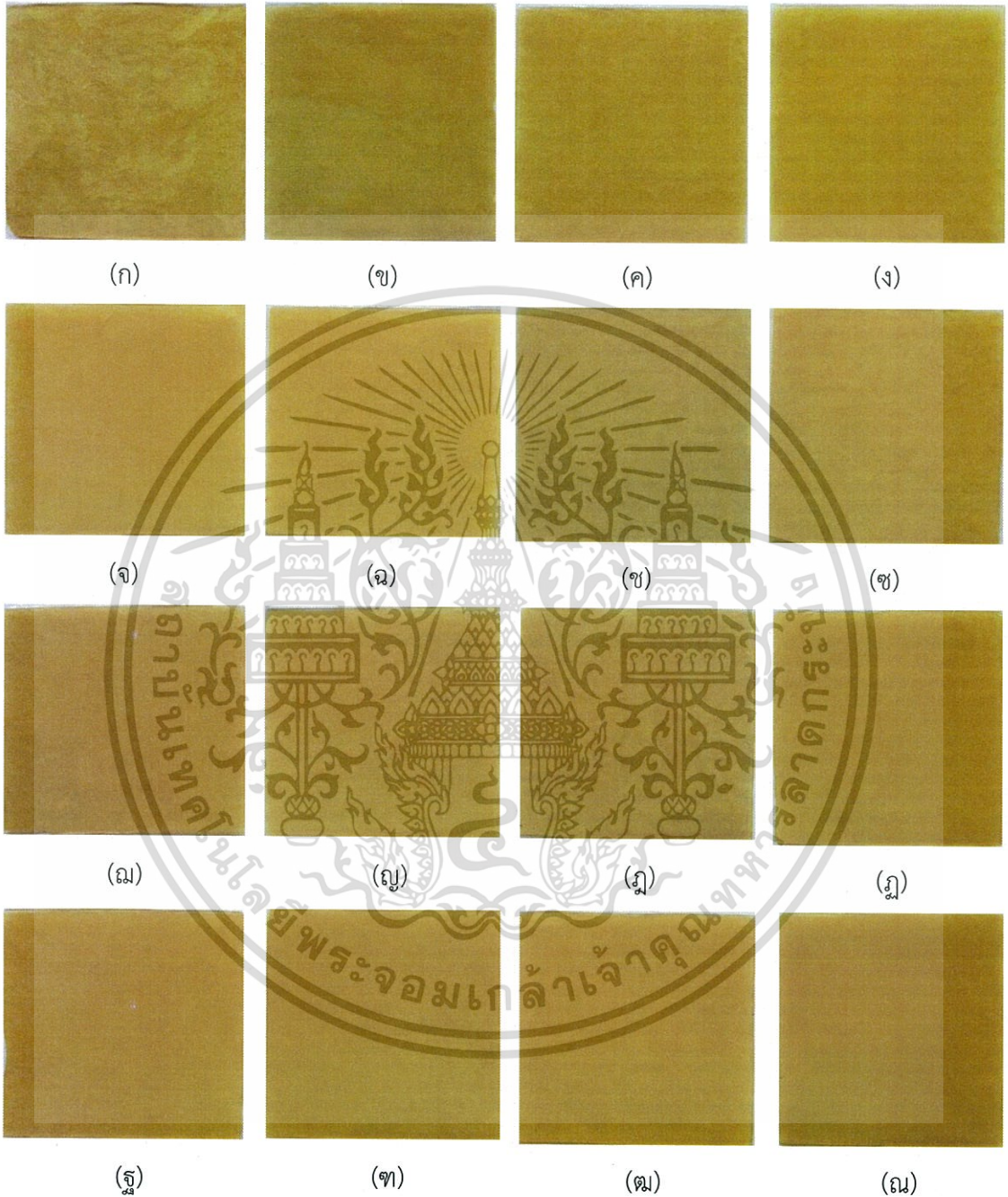
- [27] เกศศิณี ตระกูลทิวากร, วิภา สุโรจนะเมธากุล, ประชา บุญญศิริกุล และ สมยศ จรรยาวินาศ. 2539. “การทำฟิล์มที่รับประทานได้จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง”. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [28] V.Cosuleo, L.Porto and J.Laodinho.2013. “Water vapor and mechanical properties of starch film containing stearic acid. *Industrialcrop and product*”, 41(2013) 227-234
- [29] Coma.v., Sebti, I., P.,Derchamps, A. and Pichavant F.H. 2001. Antimicrobial edible packaging based on cellulosic ethers, fatty acid, and nisin incorporation to inhibit *Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus*. *J. Food Prot.*64: 470-475
- [30] ดวงใจ ถิรธรรมถาวร ,เจริญเหรียญ สงวนศรี, และประดิษฐ์ดวง สายสนม 2553. “การปรับปรุงสมบัติด้านการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มบรีโกลด์ระบบหลายองค์ประกอบจากสตาร์ชมันสำปะหลังตัดแปรรอบที่นิลซัคซิเนต”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [31] T.Buasri, M. Nomnut, S. Thammrugsakun, and N. Sittattrakul. “Decrease of moisture sensitivity of thermoplastic starch with fatty acid and Chitosan derivative” 34th Congress on science and technology of Thailand at Queen Sirikit Nation convention Center, 31 October-2 November, 2008
- [32] พรพรรณ จันทรีไตร 2543, “การปรับปรุงสมบัติความคงทนต่อการดูดซับน้ำของฟิล์มบรีโกลด์จากแป้งมันสำปะหลังและการใช้ประโยชน์” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [33] Lovedeep K., Jaspreet S., and Narpinder S. “Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches”. *Food Hydrocolloids*, 19 (2005) 839–849.
- [34] Schmidt V.C.R., Porto L.M., Laurindo J.B., and Menegalli F.C.. “Water vapor barrier and mechanical properties of starch films containing stearic acid”. *Industrial Crops and Products* 41 (2013) 227–234.
- [35] A. L. D. Roz, M. D. Zombon, A.A.S. Curvelo and A. J.F. Carvalho. “Thermoplastic starch modified during melt processing with organic acids : The effect of molar mass on thermal and mechanical properties”. *Industrial crops and products*, 38 (2011) 152-157

- [36] Enhancement of Polyolefins Compatibility with Natural Fibers through Chemical Modification. [Online]. Available <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajps.20120205.04.html> (สืบค้นข้อมูล : 27 เมษายน 2559)
- [37] C. Chung and M. Lee. "Characterization of cotton fabric scouring by FT-IR ATR spectroscopy", Carbohydrate Polymers, 58 (2004) 417-420.
- [38] เย็นททัย แน่นหนา "สเปกโทรสโกปีสำหรับเคมีอินทรีย์". พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [39] M. Rovshandeh, E. Kazaj and Kamel. 2014. "Effect of glycerol and stearic acid as Plasticizer on Physical properties of Benzylated Wheat Straw" Caspian faculty of Engineering, Colleague of engineering, University of Tehran, Rezvanshahr
- [40] จีราวรรณ โสธร วรรณวรงค์ สุทธะ และวัชรีย์ คุณฉวีวัฒน์. "สมบัติต่างๆเทอร์โมพลาสติก สตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าผสมกับแป้งมันสำปะหลัง แป้งทำวยายม่อม หรือแป้งถั่วเขียว" โครงการงาน พิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552.
- [41] M. Yunos and W.A. Rahman. 2011. "Effect of glycerol on Performance Rice Straw/Starch Base Polymer" Department of polymer engineering, Faculty of Chemical and Natural Resource Engineering Universiti Teknologi Malaysia
- [42] Thermoplastic Casava flour. [Online]. Available : <http://cdn.intechopen.com/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 25 เมษายน 2559)
- [43] C. Liao, M.B. Ahmad, W.M. Zin and Y.Y. Then. "Preparation and characterization of Polyhydroxybutyrate/Polycaprolactone/Mg-Al layered double hydroxide nanocomposite" Digest journal of Nanomaterial and Biostructure Vol 9, No 1, January-March 2014, P. 71-82
- [44] Magnesium Stearate. [Online]. Available : <https://ipecamericas.org/> (สืบค้นข้อมูล : วันที่ 25 เมษายน 2559)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก



เทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโน-  
 สเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรท (ก) TPCS (ข) TPCS-S1 (ค) TPCS-S2 (ง) TPCS-S3  
 (จ) TPCS-S4 (ฉ) TPCS-S5 (ช) TPCS-G1 (ซ) TPCS-G2 (ฐ) TPCS-G3 (ฑ) TPCS-G4 (ฒ) TPCS-G5  
 (ณ) TPCS-M1 (ฐ) TPCS-M2 (ฑ) TPCS-M3 (ฒ) TPCS-M4 และ (ณ) TPCS-M5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### การศึกษาสมบัติเชิงกล

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่ปรับปรุงด้วยกรดสแตียริก กลีเซอรอลโมโน-สแตียเรท และแมกนีเซียมสแตียเรทในปริมาณต่างๆ

| ตัวอย่าง | ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด | เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด | มอดุลัส   |
|----------|----------------------------|---|-----------|
| TPCS     | 1.57±0.20                  | 309.30±22.11                            | 2.30±0.19 |
| TPCS-S1  | 1.59±0.23                  | 301.01±18.03                            | 2.58±0.14 |
| TPCS-S2  | 1.37±0.08                  | 228.39±20.75                            | 2.71±0.16 |
| TPCS-S3  | 1.31±0.07                  | 221.46±25.67                            | 2.97±0.18 |
| TPCS-S4  | 1.25±0.08                  | 206.15±14.91                            | 2.97±0.45 |
| TPCS-S5  | 1.24±0.12                  | 180.62±21.65                            | 3.51±0.38 |
| TPCS-G1  | 1.49±0.11                  | 306.44±25.24                            | 2.22±0.28 |
| TPCS-G2  | 1.33±0.16                  | 270.25±16.28                            | 2.21±0.12 |
| TPCS-G3  | 1.52±0.11                  | 248.71±22.70                            | 2.19±0.35 |
| TPCS-G4  | 1.55±0.16                  | 192.79±18.54                            | 2.57±0.35 |
| TPCS-G5  | 1.21±0.11                  | 175.04±25.98                            | 3.17±0.31 |
| TPCS-M1  | 1.82±0.22                  | 307.98±21.45                            | 2.69±0.33 |
| TPCS-M2  | 1.98±0.08                  | 307.76±23.85                            | 2.43±0.31 |
| TPCS-M3  | 1.88±0.19                  | 302.21±22.43                            | 2.42±0.39 |
| TPCS-M4  | 1.71±0.09                  | 310.92±24.08                            | 2.16±0.18 |
| TPCS-M5  | 2.01±0.25                  | 305.47±29.54                            | 2.37±0.32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การศึกษาสมบัติทางกายภาพ (การดูดซับน้ำ)

ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลจากแป้งมันสำปะหลังและเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงสมบัติด้วยกรดสเตียริก, กลีเซอรอลโมโนสเตียเรทและแมกนีเซียมสเตียเรท ที่ปริมาณต่างๆ

(ก) เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกที่ปริมาณต่างๆ

| วัน | TPCS  | TPCS-S1 | TPCS-S3 | TPCS-S5 |
|-----|-------|---------|---------|---------|
| 0   | 0     | 0       | 0       | 0       |
| 1   | 11.1  | 11.2    | 12.5    | 12.4    |
| 2   | 21.1  | 21.1    | 22.4    | 22.4    |
| 3   | 28.1  | 27.6    | 28.4    | 28.2    |
| 4   | 36.9  | 33.7    | 34.5    | 33.9    |
| 5   | 39.9  | 38.9    | 39.4    | 39.4    |
| 6   | 42.8  | 42.5    | 42.3    | 42.5    |
| 7   | 46.97 | 45.2    | 44.9    | 44.6    |
| 8   | 48.3  | 47.1    | 46.9    | 46.4    |
| 9   | 51.8  | 50.5    | 49.2    | 48.8    |
| 10  | 55.3  | 53.5    | 51.1    | 50.2    |
| 11  | 54.9  | 53.8    | 52.4    | 52.7    |
| 12  | 56.7  | 55.2    | 53.6    | 53.6    |
| 13  | 56.7  | 55.2    | 53.6    | 53.6    |
| 14  | 57.8  | 57.1    | 55.1    | 56.1    |
| 15  | 58.3  | 57.7    | 56.5    | 57.1    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาเรซที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรทที่ ปริมาณต่างๆ

| วัน | TPCS | TPCS-G1 | TPCS-G3 | TPCS-G5 |
|-----|------|---------|---------|---------|
| 0   | 0    | 0       | 0       | 0       |
| 1   | 11.1 | 12.5    | 14.1    | 12.7    |
| 2   | 21.1 | 22.4    | 23.5    | 22.2    |
| 3   | 28.1 | 28.5    | 29.9    | 28.4    |
| 4   | 36.9 | 35.1    | 35.1    | 38.4    |
| 5   | 39.9 | 38.9    | 39.4    | 39.3    |
| 6   | 42.8 | 42.7    | 43.3    | 42.8    |
| 7   | 46.9 | 44.7    | 45.9    | 44.4    |
| 8   | 48.3 | 46.9    | 48.2    | 46.5    |
| 9   | 51.8 | 49.4    | 49.4    | 48.8    |
| 10  | 55.3 | 51.8    | 50.8    | 51.1    |
| 11  | 54.9 | 54.3    | 53.1    | 52.1    |
| 12  | 56.7 | 54.7    | 53.8    | 53.1    |
| 13  | 56.7 | 54.7    | 53.8    | 53.1    |
| 14  | 57.8 | 55.9    | 55.5    | 55.1    |
| 15  | 58.3 | 57.5    | 57.2    | 57.1    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรทที่ปริมาณต่างๆ

| วัน | TPCS | TPCS-M1 | TPCS-M3 | TPCS-M5 |
|-----|------|---------|---------|---------|
| 0   | 0    | 0       | 0       | 0       |
| 1   | 11.1 | 12.2    | 11.3    | 11.5    |
| 2   | 21.1 | 23.2    | 21.6    | 21.5    |
| 3   | 28.1 | 29.7    | 28.6    | 27.4    |
| 4   | 36.9 | 35.3    | 34.4    | 34.1    |
| 5   | 39.9 | 40.6    | 40.1    | 39.2    |
| 6   | 42.8 | 43.7    | 43.1    | 42.1    |
| 7   | 46.9 | 47.4    | 46.9    | 45.5    |
| 8   | 48.3 | 49.1    | 48.5    | 47.1    |
| 9   | 51.8 | 52.7    | 52.3    | 49.5    |
| 10  | 55.3 | 56.3    | 56.1    | 52.3    |
| 11  | 54.9 | 55.9    | 55.4    | 52.9    |
| 12  | 56.7 | 57.8    | 57.1    | 54.3    |
| 13  | 56.7 | 57.8    | 57.1    | 54.3    |
| 14  | 57.8 | 59.6    | 58.7    | 55.9    |
| 15  | 58.3 | 59.9    | 58.9    | 56.9    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

การศึกษาสมบัติเชิงกลหลังการย่อยสลายโดยการฝังดิน

ตารางแสดงค่าสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก กลีเซอรอลโมโนสเตียเรท และแมกนีเซียมสเตียเรทในปริมาณต่างๆหลังการฝังดินเป็นเวลา 5 วัน

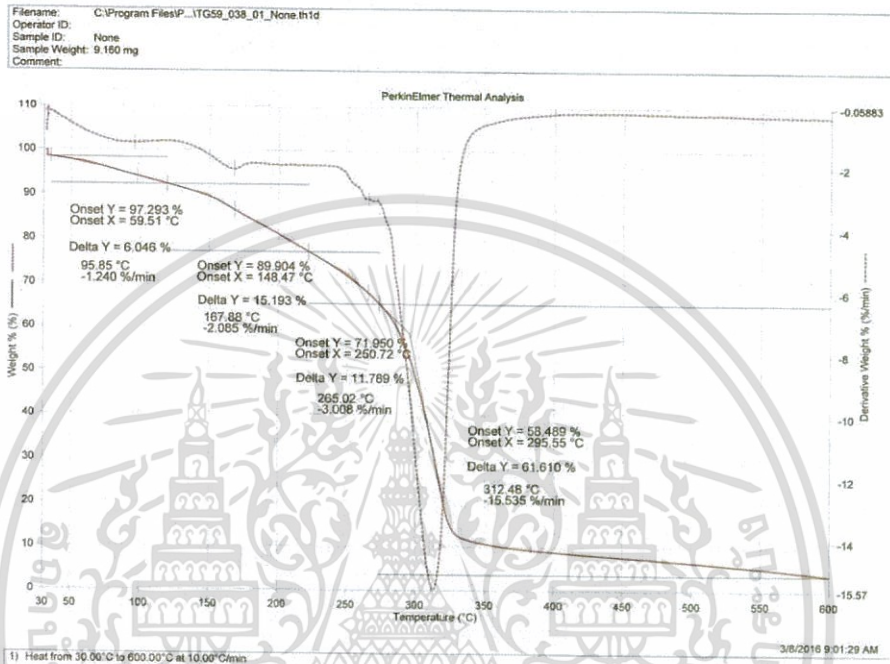
| ตัวอย่าง | ความเค้น ณ จุดแรงดึงสูงสุด | เปอร์เซ็นต์ความเครียด ณ จุดแรงดึงสูงสุด | มอดุลัส   |
|----------|----------------------------|---|-----------|
| TPCS     | 0.20±0.01                  | 102.84±6.03                             | 0.12±0.01 |
| TPCS-S1  | 0.10±0.01                  | 112.83±6.24                             | 0.09±0.01 |
| TPCS-S2  | 0.06±0.01                  | 92.73±3.82                              | 0.14±0.01 |
| TPCS-S3  | 0.04±0.01                  | 74.45±3.79                              | 0.13±0.01 |
| TPCS-S4  | 0.05±0.02                  | 69.94±6.04                              | 0.11±0.02 |
| TPCS-S5  | 0.052±0.01                 | 74.68±7.46                              | 0.12±0.01 |
| TPCS-G1  | 0.33±0.01                  | 110.65±7.79                             | 0.10±0.01 |
| TPCS-G2  | 0.27±0.01                  | 113.68±11.97                            | 0.61±0.01 |
| TPCS-G3  | 0.13±0.01                  | 131.23±4.42                             | 0.56±0.01 |
| TPCS-G4  | 0.12±0.01                  | 103.34±2.56                             | 0.20±0.01 |
| TPCS-G5  | 0.10±0.01                  | 82.50±0.43                              | 0.30±0.01 |
| TPCS-M1  | 0.18±0.01                  | 101.48±1.59                             | 0.27±0.02 |
| TPCS-M2  | 0.18±0.02                  | 103.99±0.01                             | 0.34±0.01 |
| TPCS-M3  | 0.21±0.03                  | 102.57±10.17                            | 0.38±0.01 |
| TPCS-M4  | 0.26±0.03                  | 113.47±1.70                             | 0.30±0.01 |
| TPCS-M5  | 0.26±0.03                  | 109.44±6.20                             | 0.36±0.01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

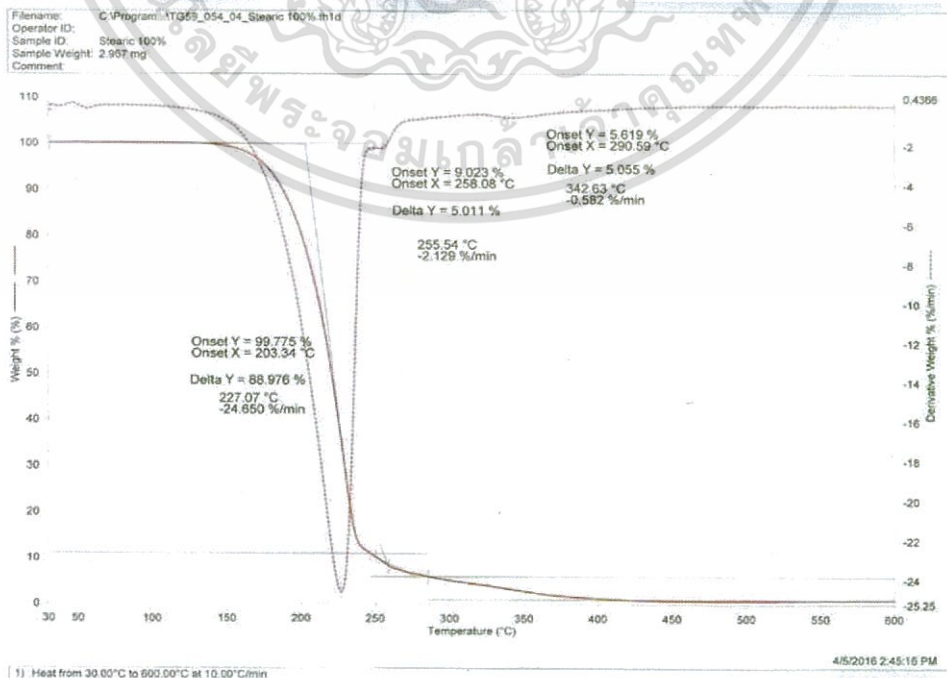
## ภาคผนวก จ

การศึกษาสมบัติทางความร้อน

(ก) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสไตรซ์จากแป้งมันสำปะหลัง

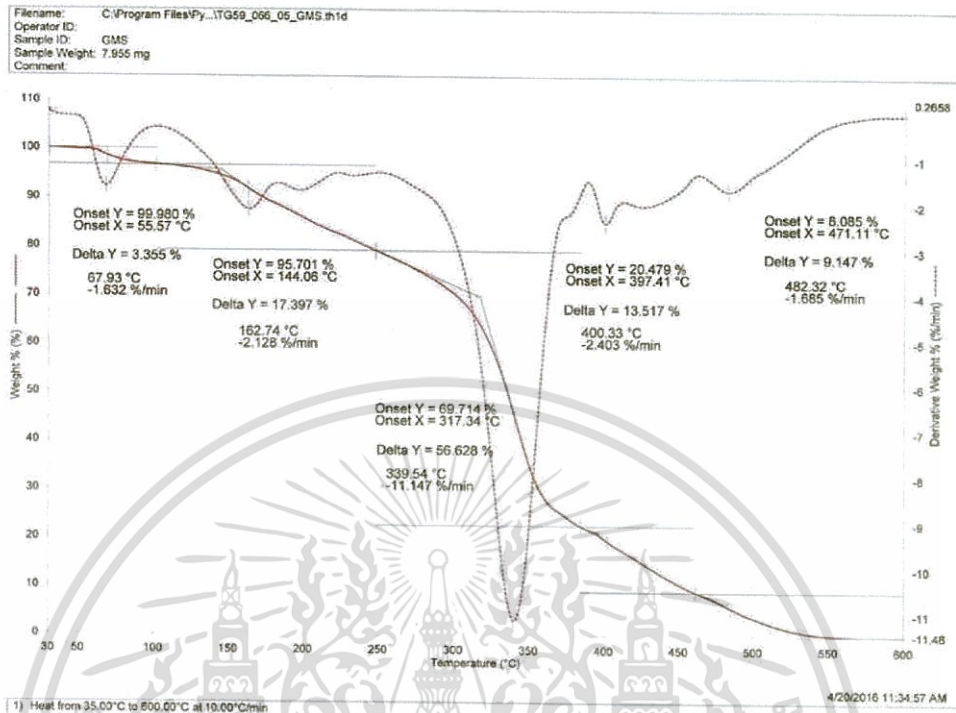


(ข) TGA และ DTG ของกรดสเตียริก

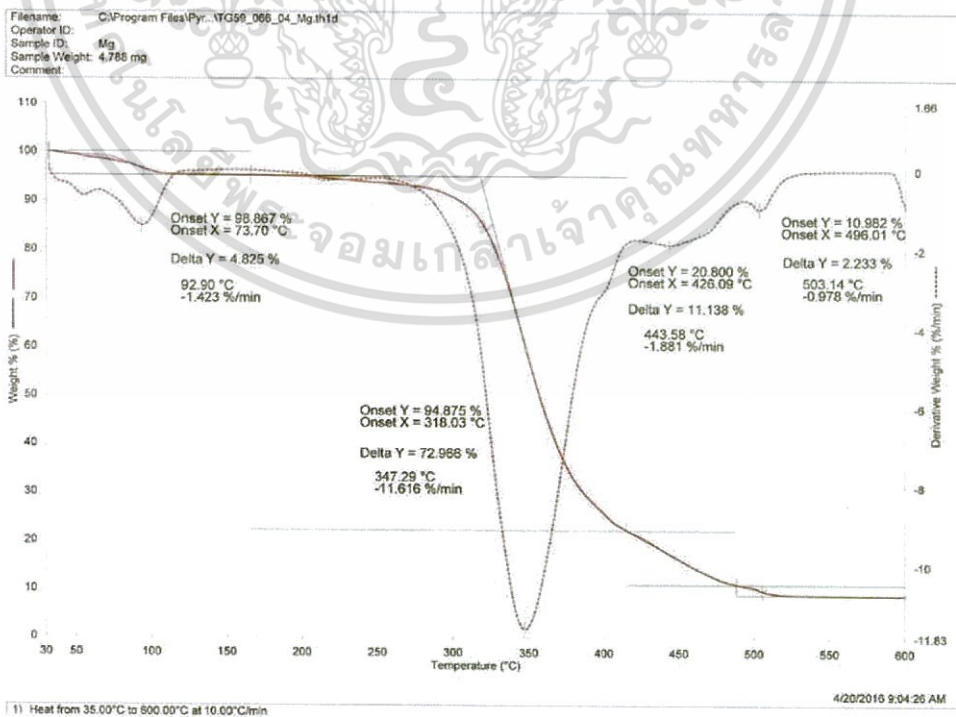


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) TGA และ DTG ของกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท

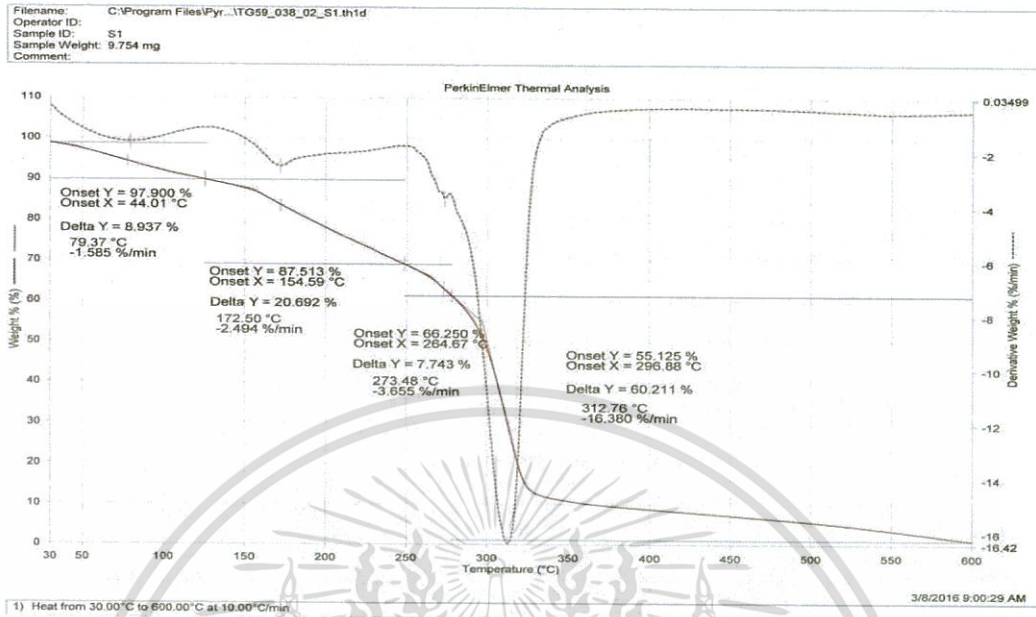


(ง) TGA และ DTG ของแมกนีเซียมสเตียเรท

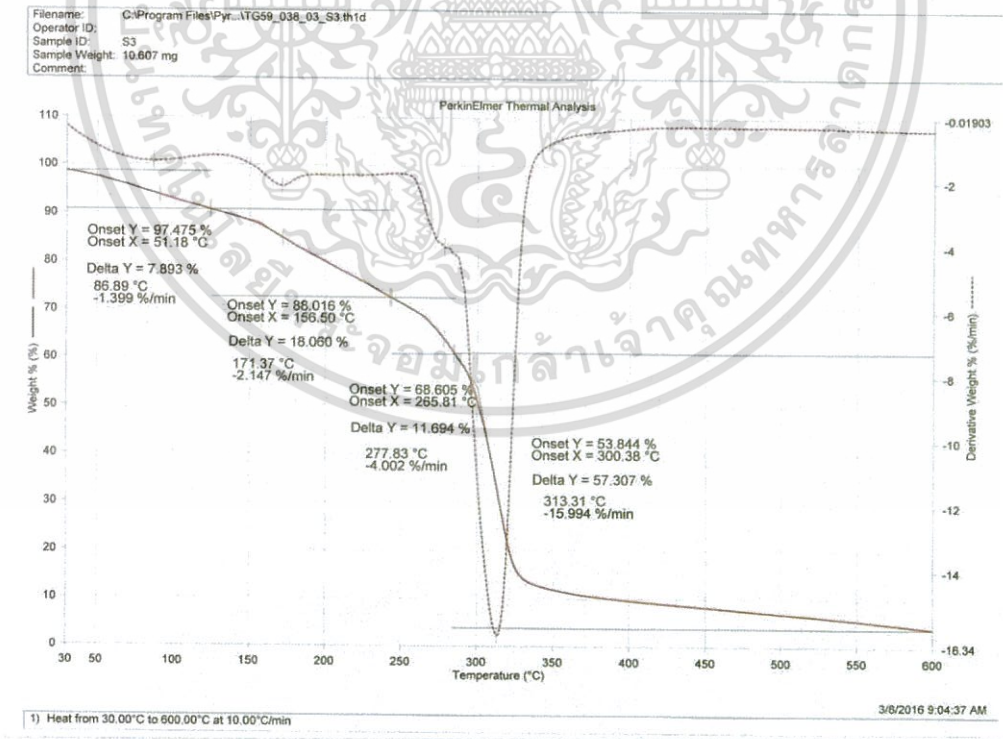


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(จ) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกปริมาณ 1%

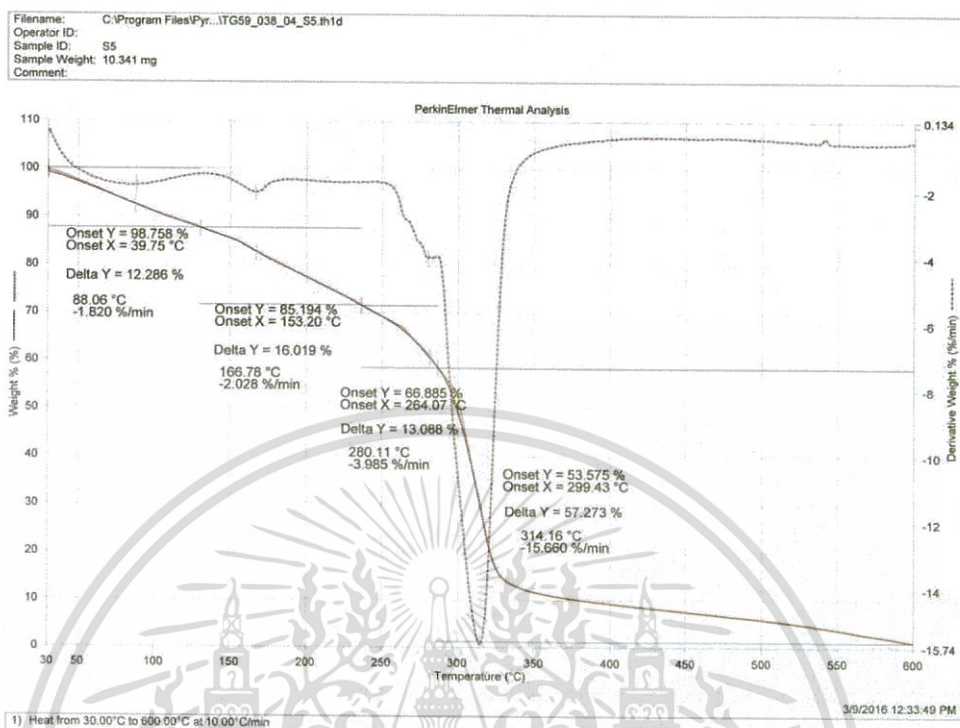


(ข) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกปริมาณ 3%

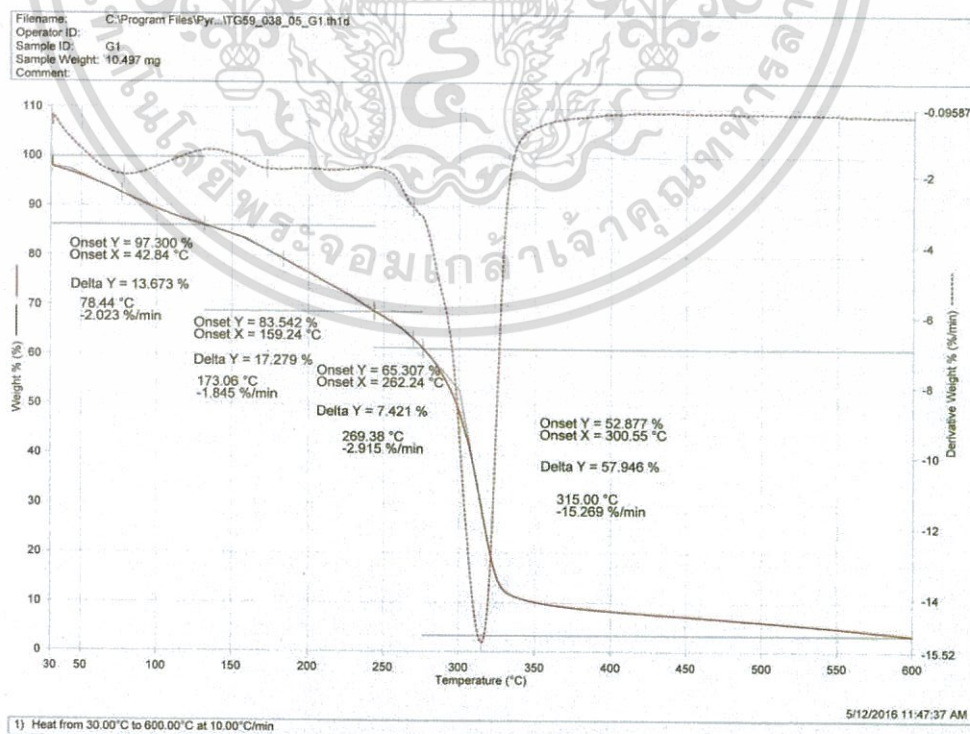


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกปริมาณ 5%

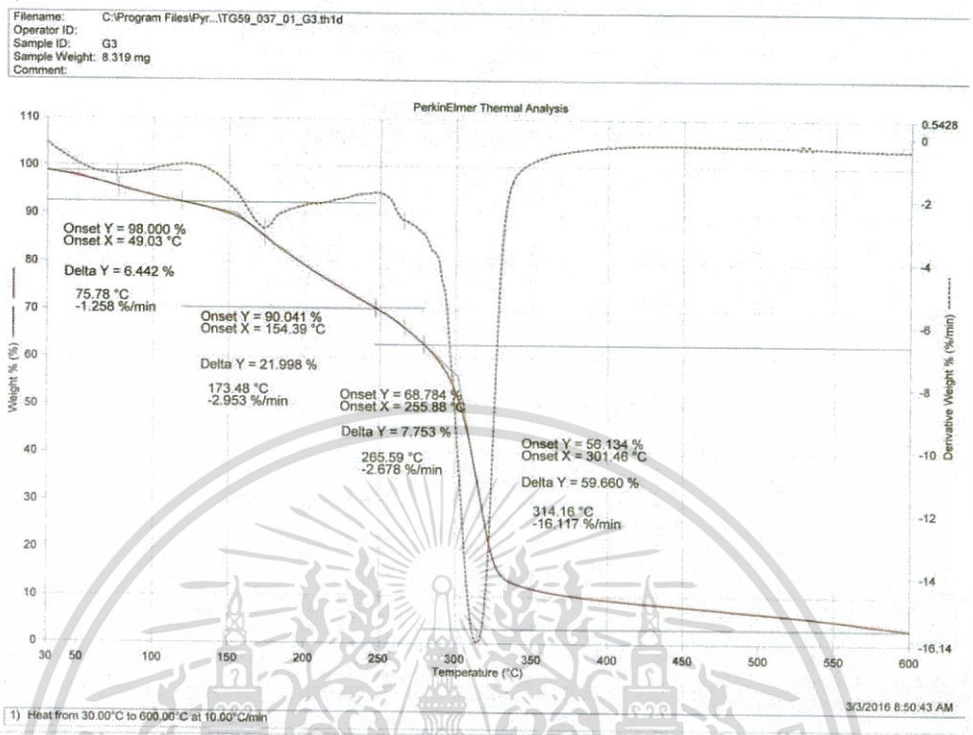


(ข) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท 1%

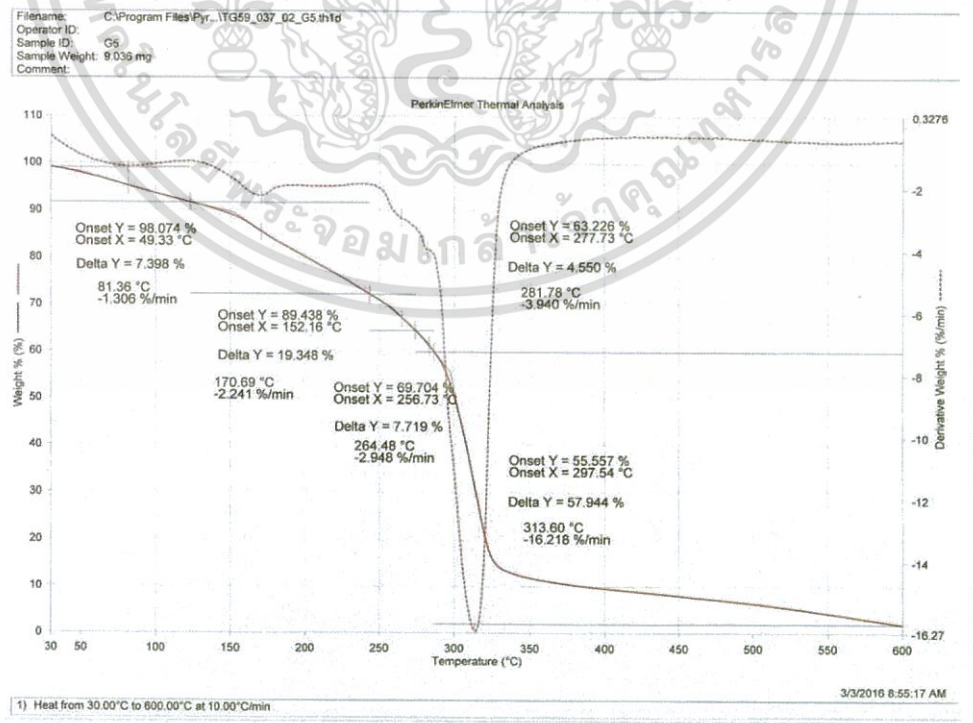


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ฉ) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท 3%

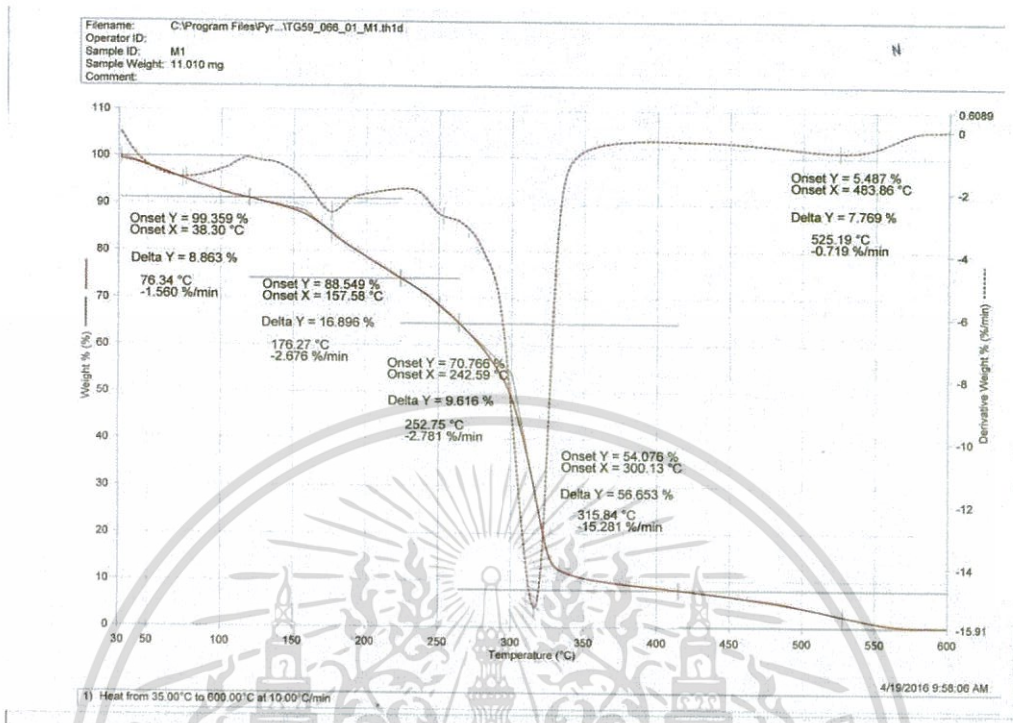


(ง) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์ที่ปรับปรุงด้วยกลีเซอรอลโมโนสเตียเรท 5%

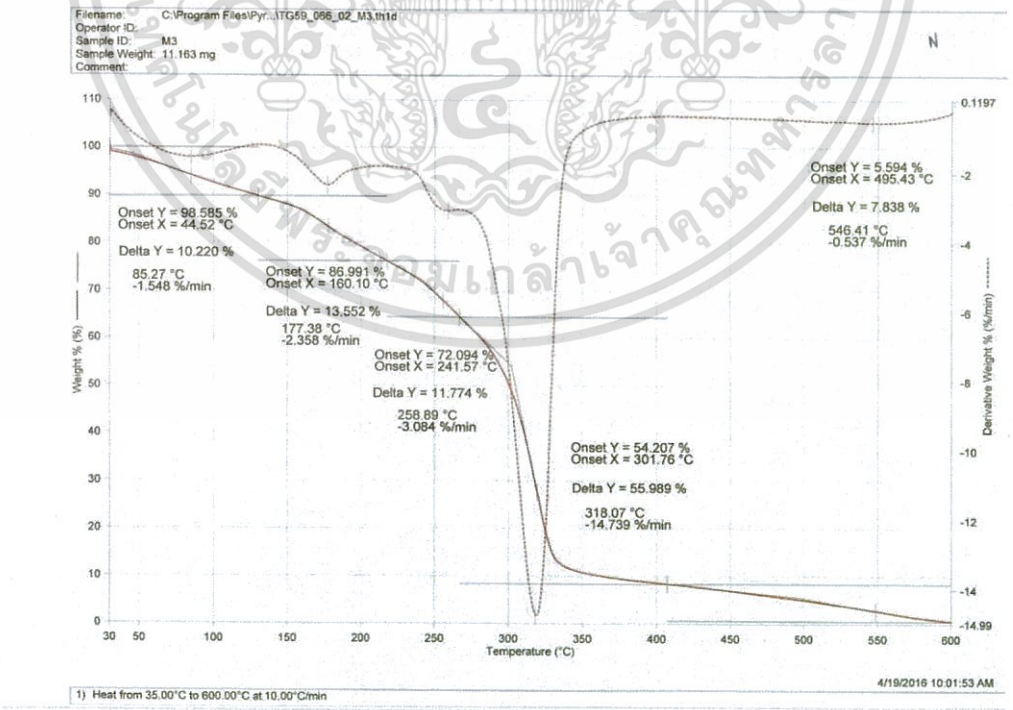


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาซซ์ที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท 1%

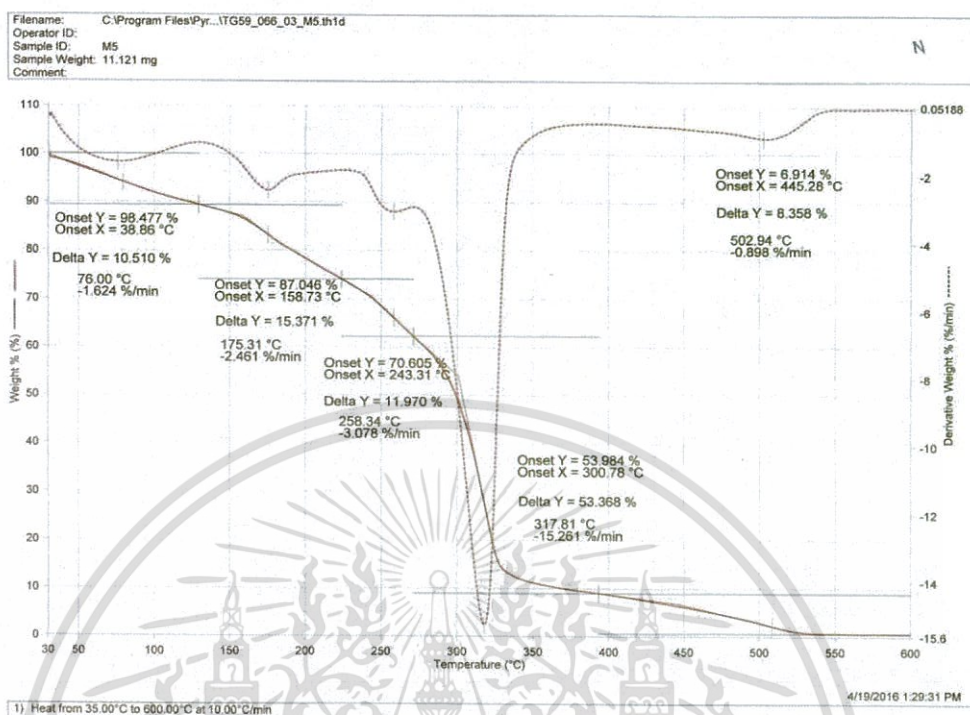


(ข) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาซซ์ที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท 3%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(จ) TGA และ DTG ของเทอร์โมพลาสติกสตาบิลที่ปรับปรุงด้วยแมกนีเซียมสเตียเรท 5%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้