

## กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยโครงการวิจัย เรื่องการปรับปรุงความเหนียวของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้จากกลูเตน จากข้าวสาลีด้วยยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิคแอนไฮไดรด์ไดรด์ ต้องขอขอบคุณคุณสุภาภรณ์ ขอบุญส่งเสริม ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนด้วยเทคนิค DSC ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรี นางสาววรลักษณ์ ฉอยขุนทด นางสาวกัญญา แจกกลดี นายณัฐวุฒิ ม้วยแก้ว นายณัฐดนัย สุปัตติ นางสาวพีรดา มะโนมัย และนายอรรถสิทธิ์ โช้เจริญธรรม รวมทั้งนักศึกษาปริญญาโท นายนนทวัฒน์ ไกรเทพ และนายปฎกิจ นาคราช ที่ช่วยในในการทำวิจัย และรวบรวมผลการทดลอง

ขอขอบพระคุณคุณพินิจ เจียนระลึก และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ ตลอดจนบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้เอื้อเฟื้ออำนวยความสะดวก พร้อมทั้งให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์ การเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยตลอดการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้าย โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยและสร้างสรรค์ส่วนกลาง มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีงบประมาณ 2556

อาจารย์ ดร. สุตศิริ เหมศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทรฉาย ทองปิ่น

ชื่อโครงการ การปรับปรุงความเหนียวของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้จากกลูเตนจากข้าวสาลี  
ด้วยยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์

ชื่อผู้วิจัย อาจารย์ ดร. สุตศิริ เหมศรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทร์ฉาย ทองปิ่น

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย กองทุนวิจัยและสร้างสรรค์ส่วนกลาง มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีที่เสร็จ 2558

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงความเหนียว และความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้จากกลูเตนจากข้าวสาลี ซึ่งมีสมบัติที่เปราะและดูดซึมน้ำได้ดีหลังจากขึ้นรูป เพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้จากกลูเตนจากข้าวสาลี ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการผสมกลูเตนจากข้าวสาลีกับยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ โดยยางที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์เตรียมโดยการกราฟต์มาลิอิกแอนไฮไดรด์ลงบนยางธรรมชาติ โดยใช้แรงเฉือนที่อุณหภูมิสูงในเครื่องผสมแบบ การกราฟต์มาลิอิกแอนไฮไดรด์ลงบนยางธรรมชาติ โดยใช้แรงเฉือนที่อุณหภูมิสูงในเครื่องผสมแบบ การกราฟต์มาลิอิกแอนไฮไดรด์ลงบนยางธรรมชาติ จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของยางธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้เพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างวัฏภาคกลูเตนและวัฏภาคยางในพอลิเมอร์ผสมระหว่างกลูเตนกับยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จะนำมาศึกษาสมบัติเชิงกล การต้านทานต่อแรงกระแทก และการดูดซึมน้ำโดยเปรียบเทียบกับกลูเตน จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการเติมยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ลงในกลูเตนจะเพิ่มค่าการดึงยึดที่จุดขาดในพอลิเมอร์ผสม อย่างน้อย 1.1 เท่า เมื่อเทียบกับกลูเตน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทก พบว่าพอลิเมอร์ผสม มีค่าความทนแรงกระแทกสูงกว่ากลูเตนอย่างน้อย 3 เท่า และเมื่อเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นจะทำให้ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด และค่าความทนแรงกระแทกสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าพอลิเมอร์ผสมมีค่า %การดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่ากลูเตน ยกตัวอย่างเช่น พอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์อยู่ 10% และ 50% โดยน้ำหนักจะมีค่า %การดูดซึมน้ำลดลง 1.1 และ 4.6 เท่าตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับ %การดูดซึมน้ำของกลูเตน ดังนั้นจากผลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า ยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ ที่เติมลงไปในกลูเตนช่วยส่งเสริมความเหนียว และการต้านทานต่อการดูดซึมน้ำในพลาสติกที่เตรียมจากกลูเตนได้

คำสำคัญ : กลูเตนจากข้าวสาลี, ยางธรรมชาติ, มาลิอิกแอนไฮไดรด์, พลาสติกชีวภาพ

Research Title           Improvement of toughness of bioplastic based on wheat gluten using  
Natural rubber modified maleic anhydride  
Researcher                Dr. Sudsiri Hemsri and Assistant Professor Dr. Chanchai Thongpin  
Office                     Department of Materials Science and Technology  
                                Faculty of Engineering and Industrial Technology  
Research Grants         Silpakorn University Fund for Research and Creative Work  
Year                        2015

### Abstract

The objective of this research is to improve toughness and water absorption resistance of wheat gluten (WG) based bio-plastics which are quite brittle and absorb water after being processed. In order to improve properties of WG plastics, WG was blended with maleic anhydride-grafted natural rubber (NRMA) prepared via grafting maleic anhydride (MA) on natural rubber (NR) chains using only shearing action at high temperature in an internal mixer. Grafting MA on NR is able to increase polarity of NR, thereby increasing compatibility between WG and the rubber phases in polymer blends of WG and NRMA (WG/NRMA). Mechanical properties, impact resistance and water absorption of the WG/NRMA blends compared with the WG plastic were investigated. From the mechanical property testing, it was found that incorporation of NRMA into WG increased elongation at break of the WG/NRMA blends at least 1.1 times with respect to that of the WG. Considering the impact property of the WG/NRMA blends, the blends provided higher impact strength values than that of the WG at least 3 times. Moreover, the elongation and impact strength increased as NRMA content in the blends increased. Besides, it was found that the polymer blends showed lower values of % water absorption (%WA) than that of the WG. For example, %WA values of the blends with 10 and 50%wt NRMA loading reduced by 1.1 and 4.6 times respectively compared to the WG. Thus, these results indicated that the NRMA could enhance toughness as well as water absorption resistance of the WG plastics.

Key words : wheat gluten, natural rubber, maleic anhydride, bioplastic

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 แนวคิดงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัยและข้อจำกัดของงานวิจัย	2
1.6 การทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.6.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกลูเตนจากข้าวสาลี	3
1.6.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางธรรมชาติ	7
1.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
<b>2. คำสำคัญของโครงการวิจัย</b>	<b>15</b>
<b>3. คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย</b>	<b>15</b>
<b>4. วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>16</b>
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	16
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	16
4.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	17
4.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	19
4.4.1 การเตรียมยางธรรมชาติที่ถูกตัดแปรด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ (NRMA)	19
4.4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของ NRMA และหาปริมาณมาลิอิกแอนไฮไดรด์ (MA) ที่ถูกกราฟท์บนยาง	20
4.4.3 การผสม WG/NRMA และการเติมสารเคมีที่ใช้ในการเชื่อมขวางยาง	20
4.4.4 การขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมโดยกระบวนการอัด (Compression molding)	22
4.4.5 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์ ชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)	22
4.4.6 การศึกษาสมบัติการดึงยืด (Testing of Tensile Properties)	22

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.7 การศึกษาสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Testing)	22
4.4.8 การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน (Thermalgravimetric Analysis : TGA)	23
4.4.9 การศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Differential scanning calorimetry: DSC)	23
4.4.10 การทดสอบความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำ (water absorption)	23
<b>5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง</b>	<b>25</b>
5.1 ยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปรด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์	24
5.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ทางด้านโครงสร้างของชิ้นงานตัวอย่างด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	26
5.3 การหาปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์ที่ถูกกราฟท์ลงบนยางธรรมชาติด้วยเทคนิค การไตเตรต	28
5.4 การทดสอบหาพฤติกรรมการเชื่อมขวางของยาง	29
5.5 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม WG/NR และ WG/NRMA	33
5.6 การศึกษาสมบัติการต้านทานต่อการดึงยืด (Tensile testing)	36
5.7 การศึกษาสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact testing)	38
5.8 การทดสอบความเสถียรทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermal gravimetric analysis (TGA)	40
5.9 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential scanning calorimeter (DSC)	43
5.10 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ	45
<b>6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	<b>47</b>
6.1 สรุปผลการวิจัย	47
6.2 ข้อเสนอแนะ	48
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>49</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>52</b>
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบด้วยเทคนิค FTIR	52
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบความเสถียรทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA	54
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC	59
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน	62
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>66</b>

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนในกลูเตนข้าวสาลี	5
ตารางที่ 4-1 ปริมาณสารเคมีที่เติมในสูตรต่างๆ	21
ตารางที่ 4-2 สภาวะและสัดส่วนสารเคมีที่ใช้ในการบ่มยาง	21
ตารางที่ 5-1 ปริมาตรของ KOH และ % graft MA บนยางธรรมชาติ	28
ตารางที่ 5-2 แสดงค่า Parameter ต่างๆ ที่ได้จากเครื่อง Moving Die Rheometer	29
ตารางที่ 5-3 สมบัติเชิงกลของชิ้นงาน WG/NR ที่อัตราส่วนต่างๆ	36
ตารางที่ 5-4 สมบัติเชิงกลของชิ้นงาน WG/NRMA ที่อัตราส่วนต่างๆ	37
ตารางที่ 5-5 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานต่อแรงกระแทกของชิ้นงาน WG/NR และ WG/NRMA	38
ตารางที่ 5-6 สมบัติเชิงกล และค่า impact strength ของ WG/NRMA, HIPS, HDPE และ PP homopolymer	39
ตารางที่ 5-7 ข้อมูลการสลายตัวทางความร้อนของ pure WG, NR, NRMA และ WG/NRMA	42
ตารางที่ 5-8 ค่า Glass transition temperature (Tg) ของชิ้นงาน WG/NRMA	45
ตารางที่ 5-9 % การดูดซึมน้ำ (WA) ของ WG พอลิเมอร์ผสม WG/NRMA ที่อัตราส่วนต่างๆ และ NRMA ที่การทดสอบ 4,320 นาที (3วัน)	46
ตารางที่ ง-1 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (% water absorption, %WA) ของชิ้นงานสูตรต่างๆ	62
ตารางที่ ง-2 น้ำหนัก, น้ำหนักเฉลี่ย, % การดูดซึมน้ำ (%WA) ของชิ้นงาน pure WG	62
ตารางที่ ง-3 น้ำหนัก, น้ำหนักเฉลี่ย, % การดูดซึมน้ำ (%WA) ของชิ้นงาน WG/NRMA ที่อัตราส่วน 90:10	63
ตารางที่ ง-4 น้ำหนัก, น้ำหนักเฉลี่ย, % การดูดซึมน้ำ (%WA) ของชิ้นงาน WG/NRMA ที่อัตราส่วน 80:20	63
ตารางที่ ง-5 น้ำหนัก, น้ำหนักเฉลี่ย, % การดูดซึมน้ำ (%WA) ของชิ้นงาน WG/NRMA ที่อัตราส่วน 70:30	64
ตารางที่ ง-6 น้ำหนัก, น้ำหนักเฉลี่ย, % การดูดซึมน้ำ (%WA) ของชิ้นงาน WG/NRMA ที่อัตราส่วน 60:40	64
ตารางที่ ง-7 น้ำหนัก, น้ำหนักเฉลี่ย, % การดูดซึมน้ำ (%WA) ของชิ้นงาน WG/NRMA ที่อัตราส่วน 50:50	65
ตารางที่ ง-8 น้ำหนัก, น้ำหนักเฉลี่ย, % การดูดซึมน้ำ (%WA) ของชิ้นงาน NRMA	65

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1-1 ลักษณะของข้าวสาลีและส่วนประกอบของเมล็ดข้าวสาลี	3
รูปที่ 1-2 การเชื่อมกันของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในโมเลกุลด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยการเกิดพันธะแบบ N-ไกลโคซิดิก และ O-ไกลโคซิดิก)	4
รูปที่ 1-3 การเชื่อมโยงของไกลอะดินและกลูเตนินโดย SH/SS interchange reaction (Tc คือ critical temperature)	7
รูปที่ 1-4 โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบต่างๆ	9
รูปที่ 5-1 ลักษณะยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟท์ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ ก) ที่เติม initiator และ ข) ที่ไม่เติม initiator	24
รูปที่ 5-2 ลักษณะของยางที่ละลายในตัวทำละลายโทลูอีน ก) ยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟท์ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ที่เติม Initiator และ ข) ยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟท์ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ที่ไม่เติม initiator	25
รูปที่ 5-3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของมาลิกแอนไฮไดรด์และยางธรรมชาติ (A) กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ Free radical (B) กลไกการเกิด ปฏิกิริยาแบบ Diels-Alder reaction	26
รูปที่ 5-4 FTIR spectrum ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติและ ยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟท์ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (NRMA)	27
รูปที่ 5-5 Cure characteristic ของ NR ที่อุณหภูมิ 150 °C	30
รูปที่ 5-6 Cure characteristic ของ NRMA ที่อุณหภูมิ 150 °C	30
รูปที่ 5-7 Cure characteristic ของ WG/NR ที่อัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 150 °C	31
รูปที่ 5-8 Cure characteristic ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิ 150 °C	31
รูปที่ 5-9 แสดงผลึกของมาลิกแอนไฮไดรด์ที่อยู่บนผิวของยาง NRMA	32
รูปที่ 5-10 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากแช่ ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลวที่กำลังขยาย 200 เท่า: (ก) WG, (ข) NR, (ค) WG/NR ที่อัตราส่วน 90/10, (ง) WG/NR ที่อัตราส่วน 70/30 และ (จ) WG/NR ที่อัตราส่วน 50/50	34
รูปที่ 5-11 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวรอยแตกหักภายหลังจากแช่ ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลวที่กำลังขยาย 200 เท่า ของพอลิเมอร์ผสม WG/NR และ WG/NRMA: (ก) WG/NR ที่อัตราส่วน 90/10, (ข) WG/NRMA ที่อัตราส่วน 90/10, (ค) WG/NR ที่อัตราส่วน 70/30, (ง) WG/NRMA ที่อัตราส่วน 70/30, (จ) WG/NR ที่อัตราส่วน 50/50 และ (ฉ) WG/NRMA ที่อัตราส่วน 50/50	35

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-12 TGA thermogram ของชิ้นงานตัวอย่าง WG, WG/NRMA และ NR	41
รูปที่ 5-13 DTG ของชิ้นงานตัวอย่าง WG, WGNRMA และ NR	41
รูปที่ 5-14 DSC thermogram ของชิ้นงาน WG/NRMA (2nd heat)	44
รูปที่ 5-15 เพอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่เตรียมได้จากกลูเตนและ ยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟท์ด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ (WG/NRMA) ในอัตราส่วนต่าง ๆ	45
รูปที่ ก-1 FTIR spectrum ของ Pure NR	52
รูปที่ ก-2 FTIR spectrum ของ Pure MA	52
รูปที่ ก-3 FTIR spectrum ของ NRMA 20 phr	53
รูปที่ ข-1 TGA thermogram และ DTG ของ WG	54
รูปที่ ข-2 TGA thermogram และ DTG ของ NR	54
รูปที่ ข-3 TGA thermogram และ DTG ของ NRMA	55
รูปที่ ข-4 TGA thermogram และ DTG ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 90:10	55
รูปที่ ข-5 TGA thermogram และ DTG ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 80:20	56
รูปที่ ข-6 TGA thermogram และ DTG ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 70:30	56
รูปที่ ข-7 TGA thermogram และ DTG ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 60:40	57
รูปที่ ข-8 TGA thermogram และ DTG ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 50:50	57
รูปที่ ค-1 DSC thermogram ของ WG	58
รูปที่ ค-2 DSC thermogram ของ NRMA	58
รูปที่ ค-3 DSC thermogram ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 90:10	59
รูปที่ ค-4 DSC thermogram ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 80:20	59
รูปที่ ค-5 DSC thermogram ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 75:25	60
รูปที่ ค-6 DSC thermogram ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 70:30	60
รูปที่ ค-7 DSC thermogram ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 60:40	61
รูปที่ ค-8 DSC thermogram ของ WG/NRMA ที่อัตราส่วน 50:50	61