

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแตกตัวของสารเติมแต่งประเภทคีโตนที่ช่วยให้พลาสติกเกิดการย่อยสลายทางแสง...	4
2.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนต่างๆในการย่อยสลายทางชีวภาพ.....	6
2.3 แผนภาพแสดงการย่อยสลายของพลาสติกในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ.....	7
2.4 โครงสร้างของอะไมโลส.....	23
2.5 โครงสร้างของอะไมโลเพกติน.....	23
2.6 โครงสร้างแคปทาการจีแนน.....	27
2.7 โครงสร้างไอออตาคารจีแนน.....	28
2.8 โครงสร้างแลมดาคารจีแนน.....	28
2.9 ลักษณะของผงการจีแนน.....	29
2.10 การเกิดโครงสร้างเกลียว(helix) ในการจีแนน.....	29
2.11 กลไกการเกิดเจลของนมกับแคปทาการจีแนน (a) เคซีนไมเซลและสายโซ่ที่ไม่เป็น ระเบียบ (random coil) ของการจีแนนในสารละลาย; (b) การเกิดปฏิกิริยาของเคซีน ไมเซลกับการจีแนน ;(c) เกิดการสร้างเจลจากการจีแนน.....	29
2.12 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮดราย.....	33
2.13 การทำงานของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮดราย.....	33
2.14 โครงสร้างของกลีเซอรอล.....	35
2.15 โครงสร้างของสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	36
2.16 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	37
2.17 โครงสร้างของสายโซ่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น.....	37
2.18 ส่วนประกอบเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่.....	39
2.19 ลักษณะการเรียงตัวของเม็ดสกรู.....	39
2.20 แสดงกระบวนการเป่าฟิล์ม.....	42
3.1 แผนภาพโดยรวมของการทดลอง.....	54
3.2 แผนผังขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมและการเป่าขึ้นรูปฟิล์มบางที่มีปริมาณแคปทา การจีแนนแตกต่างกัน.....	58
3.3 แผนผังขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมและการเป่าขึ้นรูปฟิล์มบางที่มีปริมาณกลีเซอรอล ในแคปทาการจีแนนแตกต่างกัน.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 แผนผังขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์ผสมและการเป่าขึ้นรูปฟิล์มบางที่มีปริมาณสารเร่งการเสื่อมสภาพพลาสติกต่างกัน.....	63
3.5 ตัวอย่างการเตรียมชิ้นงานทดสอบค่าแรงดึง.....	65
3.6 การเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยสารละลายไอโอดีน.....	66
3.7 การทดสอบชิ้นงานด้วยสารละลายไอโอดีน.....	67
4.1 แสดงการกระจายตัวของแคลปการาจีแนในฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ในสูตรต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสง ที่กำลังขยาย 200 เท่า: (ก) PE/TPS, (ข) PE/TPS/K3, (ค) PE/TPS/K5 (ง) PE/TPS/K7 และ (จ) PE/TPS/K9.....	74
4.2 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของแป้งสตาร์ช : (ก) แป้งมันสำปะหลัง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข) แคลปการาจีแน ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	75
4.3 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (PE/TPS) : (ก) พื้นผิว ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข) ภาควัดขวาง ที่กำลังขยาย 5000 เท่า.....	75
4.4 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่มีการผสมแคลปการาจีแนปริมาณ 3 phr (PE/TPS/K3) : (ก) พื้นผิว ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข) ภาควัดขวาง ที่กำลังขยาย 5000 เท่า.....	76
4.5 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่มีการผสมแคลปการาจีแนปริมาณ 5 phr (PE/TPS/K5) : (ก) พื้นผิว ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข) ภาควัดขวาง ที่กำลังขยาย 5000 เท่า.....	76
4.6 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่มีการผสมแคลปการาจีแนปริมาณ 7 phr (PE/TPS/K7) : (ก) พื้นผิว ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข) ภาควัดขวาง ที่กำลังขยาย 5000 เท่า.....	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 SEM แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาโรล ที่มีการผสมแคลปาคาราจีแนน ปริมาณ 9 phr (PE/TPS/K9) : (ก) พื้นผิว ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (ข) ภาคตัดขวาง ที่กำลังขยาย 5000 เท่า.....	77
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการผสมแคลปาคาราจีแนนในปริมาณที่ต่างกันทั้งในแนวตามเครื่องจักร (MD) และแนวขวางเครื่องจักร (TD).....	81
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulus ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการผสมแคลปาคาราจีแนนในปริมาณที่ต่างกันทั้งในแนวตามเครื่องจักร (MD) และแนวขวางเครื่องจักร (TD).....	81
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีการผสมแคลปาคาราจีแนนในปริมาณต่างๆทั้งในแนวตามเครื่องจักร(MD) และแนวขวางเครื่องจักร (TD).....	82
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับน้ำสะสมกับจำนวนวันที่แช่อยู่ในน้ำกลั่นของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาโรลที่มีปริมาณแคลปาคาราจีแนนที่แตกต่างกัน.....	87
4.12 ภาพถ่ายชิ้นงานหลังการทดสอบการฝังดินเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ด้วยความชื้น 30%, pH 7 : (ก) PE/TPS, (ข) PE/TPS/K3, (ค) PE/TPS/K5, (ง) PE/TPS/K7 และ (จ) PE/TPS/K9.....	89
4.13 ภาพพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆหลังจากฝังดินเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่ กำลังขยาย 600 เท่า : (ก) PE/TPS , (ข) PE/TPS/K3 , (ค) PE/TPS/K5, (ง) PE/TPS/K7 และ (จ) PE/TPS/K9.....	90
4.14 ภาพการเกิดการบวมตัวของผงแคลปาคาราจีแนนที่มีกลีเซอรอลผสมอยู่ในปริมาณ 30% ของแคลปาคาราจีแนน ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดแสง ที่กำลังขยาย 600 เท่า pH 7 : (ก) PE/TPS, (ข) PE/TPS/K3, (ค) PE/TPS/K5, (ง) PE/TPS/K7 และ (จ) PE/TPS/K9.....	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 แบบจำลองกลไกการเกิดเจลของแคปอาคาราจีแนน.....	101
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุดของฟิล์มพอลิเอ ทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติก สตา์ซ/แคปอาคาราจีแนน ซึ่งมีกลีเซอรอลปริมาณต่างๆผสมอยู่ในแคปอา คาราจีแนนทั้งในแนวตามเครื่องจักร (MD) และแนวขวางเครื่องจักร (TD).....	103
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulus ของฟิล์ม/พอลิเอทิลีนชนิดความหนา แน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเทอร์โมพลาสติกสตา์ซ/แคปอา คาราจีแนน ซึ่งมีกลีเซอรอลปริมาณ ต่างๆผสมอยู่ในแคปอาคาราจีแนนทั้งในแนว ตามเครื่องจักร (MD) และแนวขวางเครื่องจักร (TD).....	104
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/ เทอร์โมพลาสติก สตา์ซ/แคปอาคาราจีแนน ซึ่งมีกลีเซอรอลปริมาณ ต่างๆผสม อยู่ในแคปอาคารา จีแนนทั้งในแนวตามเครื่องจักร (MD) และแนวขวางเครื่องจักร(TD).....	104
4.19 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารเร่งการเสื่อมสภาพที่ ปริมาณต่างกัน ที่ผ่านการทำเองจึงที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 7 วัน : (ก) สูตร PE/TPS/K7/G30 (ข) สูตร PE/TPS/K7/G30/P1 และ (ค) สูตร PE/TPS/K7/G30/P3.....	108
4.20 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณสารเร่งการเสื่อมสภาพที่ ปริมาณต่างกัน ที่ผ่านการฉายรังสีเป็นระยะเวลา 4 เดือน : (ก) สูตร PE/TPS/K7/G30 (ข) สูตร PE/TPS/K7/G30/P1 และ (ค) สูตร PE/TPS/K7/G30/P3.....	109
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีน/ เทอร์โมพลาสติกสตา์ซ/แคปอาคาราจีแนน ที่มีปริมาณสารเสื่อมสภาพพลาสติก (ฟีลล์) ในปริมาณที่ต่างกันทั้งในแนวเครื่องจักร (MD) และแนวขวางเครื่องจักร (TD) ที่สภาวะก่อนการเองจึงและก่อนฉายแสงยูวี.....	110

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มพอลิเมอร์ผสม พอลิเอทิลีน/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/ แคปปาการจีแนน ที่มีปริมาณสารเชื่อมสภาพ พลาสติก(พีไอลฟ์)ในปริมาณที่ต่างกันทั้งในแนวเครื่องจักร (MD) และแนวขวางเครื่องจักร (TD) ที่สภาวะก่อนการเอจจึงและก่อนฉายแสงยูวี.....	111
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุดของฟิล์ม พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/ เทอร์โม พลาสติกสตาร์ช/ แคปปาการจีแนน ที่มีปริมาณสารการเชื่อมสภาพพลาสติก(พีไอลฟ์)ใน ปริมาณที่ต่างกัน : (ก) แนวเครื่องจักร (MD) และ (ข) แนวขวางเครื่องจักร(TD) หลังจาก เอจ จึงที่สภาวะอุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 1-7 วัน.....	111
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายังมอดุลัสของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น ต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/เทอร์โมพลาสติกสตาร์ช/ แคปปาการ จีแนน ที่มีปริมาณสารเร่งการเชื่อมสภาพพลาสติก (พีไอลฟ์)ในปริมาณที่ต่างกัน : (ก) แนวตามเครื่องจักร (MD) และ (ข) แนวขวางเครื่องจักร (TD) หลังจากเอจจึงที่ สภาวะอุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 1-7 วัน.....	113
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของฟิล์มพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/ เทอร์โมพลาสติก สตาร์ช/ แคปปาการจีแนน ที่มีปริมาณสารเร่งการเชื่อมสภาพพลาสติก (พีไอลฟ์)ใน ปริมาณที่ต่างกัน : (ก) แนวเครื่องจักร (MD) และ (ข) แนวขวางเครื่องจักร (TD) หลังจากเอจจึง ที่สภาวะอุณหภูมิ 70 °C เป็นระยะเวลา 1-7 วัน.....	115
4.27 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเอทิลีน.....	116
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดรับแรงสูงสุดของฟิล์มพอลิ เอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/ เทอร์โมพลาสติก สตาร์ช/ แคปปาการจีแนน ที่มีปริมาณสารเร่งการเชื่อมสภาพพลาสติก(พีไอลฟ์)ใน ปริมาณที่ต่างกัน : (ก) แนวเครื่องจักร (MD) และ (ข) แนวขวางเครื่องจักร(TD) หลังจากฉายแสงยูวีเป็นเวลา 2 เดือน.....	118

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Young's Modulus ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/ เทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์/ แคลปาคาราจีแนน ที่มีปริมาณสารเชื่อมสภาพพลาสติก(ฟิไลฟ์)ในปริมาณที่ต่างกัน : (ก)แนวเครื่องจักร (MD) และ (ข) แนวขวางเครื่องจักร(TD) หลังจากฉายแสงยูวีเป็นเวลา 2 เดือน.....	119
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ/พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น/ เทอร์โมพลาสติกสตาเร็กซ์/ แคลปาคาราจีแนน ที่มีปริมาณสารเชื่อมสภาพพลาสติก(ฟิไลฟ์)ในปริมาณที่ต่างกัน : (ก) แนวเครื่องจักร (MD) และ (ข) แนวขวางเครื่องจักร(TD) หลังจากฉายแสงยูวีเป็นเวลา 2 เดือน.....	120
4.31 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของพอลิเอทิลีนโดยแสง.....	121
4.32 แสดงการดูดกลืนกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น $1800-1400\text{ cm}^{-1}$ ของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆที่ทำการเอจจิงที่อุณหภูมิ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะ 7 วัน : (ก) PE/TPS/K7/G30 (ข) PE/TPS/K7/G30/P1 และ (ค) PE/TPS/K7/G30/P3.....	123
4.33 การเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหของฟิล์มพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างหลังจากทำการเอจจิงที่อุณหภูมิ $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 7 วัน.....	124
4.34 แสดงการดูดกลืนกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น $1800-1400\text{ cm}^{-1}$ ของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆหลังจากที่ทำการฉายแสงยูวีเป็นระยะเวลา 4 เดือน: (ก) 0 เดือน (ข) 1 เดือน (ค) 2 เดือน (ง) 3 เดือน และ (จ) 4 เดือน.....	128