

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249315



การศึกษาหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมต่อฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

นางสาวชญาดา อิบดัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554



249315

การศึกษามีกัมพพิที่เหมาสมต่อฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

นางสาวชญาดา ลิบลับ วท.บ. (เทคโนโลยีการพิมพ์)



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์
คณะกรรศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร.ธีรวัฒน์ ชีรภัทรพรชัย)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ.ดร.สุภาพา เนตรประดิษฐ์)

กรรมการ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผศ.ดร.กฤติกา ตันประเสริฐ)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วิทยานิพนธ์	การศึกษาหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมต่อฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวชญาดา ลิบลับ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุชปา เนตรประดิษฐ์
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการพิมพ์
ภาควิชา	เทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์
คณะ	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

249315

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางการพิมพ์ของหมึกที่มีเรซินต่างชนิดกันบนฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเปรียบเทียบผลต่อการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกนี้กับพลาสติกชนิด HDPE โดยนำฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผสมระหว่างพอลิเมอร์ชีวภาพและพอลิเมอร์ปิโตรเลียมชนิดพอลิเอสเตอร์มาทดสอบพิมพ์ด้วยหมึกจากวารันิชธรรมชาติ คือหมึกจากน้ำมันถั่วเหลืองและหมึกจากไนโตรเซลลูโลส เปรียบเทียบกับหมึกจากปิโตรเลียมทั่วไป เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางการพิมพ์พบว่า หมึกจากน้ำมันถั่วเหลืองและหมึกจากไนโตรเซลลูโลสสามารถถ่ายทอดลงบนพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้ดี หมึกจากไนโตรเซลลูโลสมีค่าความดำสูง และหมึกจากน้ำมันถั่วเหลืองมีความมันเงาดีกว่าหมึกจากปิโตรเลียม หมึกทั้งสองมีความทนทานต่อการขัดถู และมีความสามารถในการยึดติดดีเช่นเดียวกับหมึกจากปิโตรเลียม สำหรับการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีผลต่างกันเมื่อพิมพ์ด้วยหมึกหรือวารันิชต่างชนิดกัน โดยจำลองสภาพการฝังขึ้นทดสอบในดินแบบระบบเปิดเป็นระยะเวลา 90 วัน แล้วตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวโดยถ่ายภาพกำลังขยายสูง พบว่า ขึ้นทดสอบที่ฝังดินมีลักษณะแตกเป็นเส้นร่างแหเกิดขึ้น แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงบนฟิล์ม HDPE ตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่า ฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึง และการยืดตัว ลดลง รวมทั้งจุดหลอมเหลวและน้ำหนักโมเลกุลของฟิล์มก็มีการลดลง โดยพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ไม่ผ่านการพิมพ์ มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รองลงมาคือ ฟิล์มพลาสติกที่พิมพ์ด้วยหมึกหรือวารันิชจากน้ำมันถั่วเหลือง และหมึกหรือวารันิชจากไนโตรเซลลูโลส ตามลำดับ ส่วนฟิล์มพลาสติกที่พิมพ์ด้วยหมึกหรือวารันิชจากปิโตรเลียมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบหมึกกับวารันิช พบว่าผงสีมีผลขัดขวางการย่อยสลายเล็กน้อย สรุปได้ว่าชนิดของหมึกหรือวารันิช มีผลขัดขวางการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยหมึกหรือวารันิชจาก

249315

ธรรมชาติมีผลน้อยกว่าหมึกจากปีโตรเลียม แต่มีคุณสมบัติทางการพิมพ์ใกล้เคียงกับหมึกจากปีโตรเลียม

คำสำคัญ : การย่อยสลายได้ทางชีวภาพ / คุณสมบัติทางการพิมพ์ / วาร์นิช / ฟิล์มพลาสติก / หมึกจากน้ำมันถั่วเหลือง / หมึกจากไนโตรเซลลูโลส / หมึกจากปีโตรเลียม

Thesis Title	The Study of Appropriate Printing Ink for Biodegradable Film
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Chayada Liblab
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suchapa Netpradit
Program	Master of Science
Field of Study	Printing Technology
Department	Printing and Packaging Technology
Faculty	Industrial Education and Technology
B.E.	2554

Abstract

249315

The objective of this research were to compare the printing properties of printing ink with different resin types on biodegradable film and compare the degradation effect of the biodegradable film to the HDPE film. The biodegradable film in this study was the blend film of commercial bio-based and petroleum-based biodegradable polymer. The printing inks were soy ink and nitrocellulose ink, which were compared with commercial petroleum ink. The results showed that the soy ink and nitrocellulose ink were better than the petroleum ink due to easier printing ink transfer, optical density of nitrocellulose ink was the highest and gloss of soy ink was the highest. Additional, the adhesion and the rub resistance of both ink films were good and similar to the petroleum ink film. For biodegradability test, after composting in soil for 90 days, the SEM micrographs showed the net-broken structure of biodegradable film surface while there were no changes detected in HDPE film surface. This result was more pronounced on the non-printing film than the film printed with soil ink nitrocellulose ink and petroleum ink, respectively. The mechanical properties (tensile strength and elongation), melting point and molecular weight of the polymer film were decreased, indicating that the structure of film was altered. In addition, pigments had more impact on biodegradable of film. Comparison to the petroleum ink, the soy ink and nitrocellulose ink had less impact on biodegradation of film, better ink transfer and printing qualities on the biodegradable film, while produced similar ink film properties.

Keywords : Biodegradation / Printing Property / Varnish / Plastic Film / Soy Ink / Petroleum Ink

Nitrocellulose Ink

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยการศึกษาหมึกพิมพ์ที่เหมาะสมต่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนและกำลังใจจากทุกๆ ด้าน ขอขอบคุณท่านอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความรู้, คำแนะนำ, ชี้แนะ และโอกาสให้ดิฉันได้เข้ามาศึกษาในสถาบันแห่งนี้ ขอกราบขอบคุณ ท่านอาจารย์ รศ.ดร.สุชปา เนตรประดิษฐ์ ที่ให้โอกาสในการศึกษากับดิฉัน ขอขอบคุณอาจารย์ ผศ.ดร.กฤติกา ดันประเสริฐ ที่ให้คำแนะนำ และ ความรู้ตลอดเวลาที่ได้เข้ามาศึกษา ขอขอบคุณ ดร.ธีรวัฒน์ ธีรภัทรพรชัย ที่ให้คำแนะนำในการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณสมศรี บินรามัน ที่ให้ความช่วยเหลือ ด้านเอกสาร อีกทั้งขอขอบคุณ เพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยดูแลให้กำลังใจตลอดมา รวมทั้งทุกคนที่เกี่ยวข้องที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงจนได้ ขอขอบคุณพระคุณบิดามารดาที่เป็นกำลังใจตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
รายการตาราง	ณ
รายการรูปประกอบ	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 สมมติฐาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น	3
1.7 นิยามศัพท์	4
2. ทฤษฎีสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Polymer)	5
2.2 กลไกการย่อยสลายของพลาสติก	12
2.3 มาตรฐานพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เกี่ยวข้อง	15
2.4 หมึกพิมพ์เหลว	16
2.5 สารให้สี	29
2.6 เรซิน	33
2.7 หมึกพิมพ์จากน้ำมันถั่วเหลือง (Soy-based Ink)	37
2.8 หมึกพิมพ์ไนโตรเซลลูโลส	43
2.9 การทดสอบคุณสมบัติทางการพิมพ์	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 เครื่องมือทดสอบสำหรับทดสอบคุณสมบัติหมึกพิมพ์เหลว	46
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	48
3. วิธีการดำเนินการศึกษา	51
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	51
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	52
3.3 วิธีการวิเคราะห์ผลการวิจัย	57
4. ผลการศึกษา	58
4.1 ผลการทดสอบพิมพ์ ของหมึกที่ได้จากวารัณิษจากธรรมชาติ และวารัณิษจากปิโตรเลียมบนฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	58
4.2 ผลการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่พิมพ์ด้วยหมึก และวารัณิษชนิดต่างกัน	62
5. สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	81
5.1 สรุปผลการทดลอง	81
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	82
5.3 ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก	
ก. วัสดุและอุปกรณ์	88
ข. ภาพถ่ายจากการวิจัย	92
ค. ตารางแสดงค่าการทดสอบพิมพ์	96
ง. ตารางแสดงค่าการทดสอบการย่อยสลายของฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	98

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
จ. รูปแสดง จุดหลอมเหลว และ น้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติต่างชนิดกัน	104
ฉ. ผลงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่	121
ประวัติผู้วิจัย	128

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เปรียบเทียบลักษณะทั่วไประหว่างเรซินธรรมชาติและเรซินสังเคราะห์	17
2.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในหมึกพิมพ์เหลวพร้อมสมบัติที่ควรทราบ	22
2.3 ประเภทผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสำหรับงานพิมพ์บรรจุภัณฑ์ สมบัติที่ต้องการและการเลือกใช้วัตถุดิบ	28
2.4 ชนิดของเครื่องพิมพ์และความเร็วในการแห้งตัวของหมึกพิมพ์	28
2.5 เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของผงสีอินทรีย์และผงสีอนินทรีย์	31
2.6 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลือง	40
2.7 สมบัติของน้ำมันถั่วเหลือง	41
4.1 แสดงข้อมูลและค่าความหนืดของหมึกจากปิโตรเลียม หมึกจากน้ำมันถั่วเหลือง และหมึกจากใน ไตรเซลดูโลส	58
4.2 แสดงค่าความดําเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชั้นหมึกพิมพ์บนพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	59
4.3 แสดงค่าความมันเงาของหมึกจากปิโตรเลียม หมึกจากน้ำมันถั่วเหลือง และหมึกจากใน ไตรเซลดูโลส บนพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	60
4.4 แสดงค่าการยึดติดของหมึกจากปิโตรเลียม หมึกจากน้ำมันถั่วเหลือง และหมึกจากใน ไตรเซลดูโลส บนพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	61
4.5 แสดงค่าความทนทานต่อการขัดถูของชั้นหมึกจากน้ำมันปิโตรเลียม หมึกจากน้ำมันถั่วเหลือง และหมึกจากใน ไตรเซลดูโลส บนพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	61
4.6 แสดงคุณสมบัติของดินในการทดลอง	62
4.7 แสดงค่าความหนาของพลาสติกชีวภาพที่ไม่ฝังดินและฝังดิน	68
4.8 แสดงค่าความหนาของพลาสติกชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างชนิดกันที่ไม่ฝังดินและฝังดิน	71
4.9 เปรียบเทียบผลต่าง ของพลาสติกที่พิมพ์ด้วยหมึกและวาร์นิช หลังการฝังดิน	74
4.10 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติต่างชนิดกัน ที่ไม่ฝังดินและฝังดิน	79
4.11 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของหมึกพิมพ์ที่ใช้วาร์นิชต่างกัน	80
ค.1 แสดงค่าความหนืดของหมึกพิมพ์	97

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ค.2 แสดงค่าความค้ำของชั้นหมึกพิมพ์บนพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	97
ค.3 แสดงค่าความมันเงาของหมึกจากปิโตรเลียม หมึกจากน้ำมันถั่วเหลือง และหมึกจากไนโตรเซลลูโลส บนพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	97
ง.1 แสดงค่าความหนาของพลาสติกชีวภาพที่พิมพ์และไม่พิมพ์เปรียบเทียบกับฝงและไม่ฝงดิน	99
ง.2 แสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกที่พิมพ์และไม่พิมพ์ที่ไม่ฝงดิน	99
ง.3 แสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกที่พิมพ์และไม่พิมพ์ที่ฝงดิน	100
ง.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ของพลาสติกที่พิมพ์และไม่พิมพ์ ที่ไม่ฝงดิน	100
ง.5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ของพลาสติกที่พิมพ์และไม่พิมพ์ ที่ฝงดิน	101
ง.6 แสดงค่าความหนาของพลาสติกชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างชนิดกัน ที่ไม่ฝงดินและฝงดิน	101
ง.7 แสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกที่เคลือบและไม่เคลือบ ที่ไม่ฝงดิน	102
ง.8 แสดงค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ของพลาสติกที่เคลือบและไม่เคลือบ ที่ฝงดิน	102
ง.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ของพลาสติกที่เคลือบและไม่เคลือบ ที่ไม่ฝงดิน	103
ง.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ของพลาสติกที่เคลือบและไม่เคลือบ ที่ฝงดิน	103

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 แสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้จากวัตถุดิบมวลชีวภาพ	6
2.2 แสดงวัฏจักรการเกิดพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพ	7
2.3 แสดงพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากแหล่งวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้ และแหล่งวัตถุดิบปิโตรเลียม	8
2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเบวทิลีนซัคซินเนต (PBS)	9
2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิไตรเมทิลีนเทอเรพทาเลต (PTT)	9
2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)	10
2.7 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด (PLA)	11
2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHAs)	11
2.9 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องวัดความเงา	44
2.10 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องสเปกโตรเดนซิโตมิเตอร์	45
2.11 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องทดสอบความทนทานต่อการขัดถู (Rub tester)	46
2.12 แสดงลักษณะภายนอกของเครื่องทดสอบพิมพ์ (RK Printing Proofer) หัวพิมพ์ Gravure	47
2.13 แสดงลักษณะภายนอกของถ้วยชาหั่น	47
4.1 แสดงลักษณะผิวหน้าของพลาสติก HDPE และแสดงลักษณะผิวหน้าของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BF) ที่ไม่ฝังดินและฝังดิน เป็นระยะเวลา 90 วัน กำลังขยาย 1000 เท่า	63
4.2 แสดงลักษณะผิวหน้าของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BF) ที่ฝังดิน เป็นระยะเวลา 90 วัน กำลังขยาย 5000 เท่า	64
4.3 แสดงลักษณะผิวหน้าของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่พิมพ์ด้วยหมึกจากน้ำมันถั่วเหลือง (BF/SI) หมึกไนโตรเซลลูโลส (BF/NI) และหมึกปิโตรเลียม (BF/PI) ที่ไม่ฝังดินและฝังดิน เป็นระยะเวลา 90 วัน กำลังขยาย 1000 เท่า	65
4.4 แสดงลักษณะผิวหน้าของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BF) เปรียบเทียบกับผิวหน้าของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากน้ำมันถั่วเหลือง (BF/SV) วาร์นิชจากไนโตรเซลลูโลส (BF/NV) และ วาร์นิชจากปิโตรเลียม (BF/PV) ที่ไม่ฝังดินและฝังดิน	67

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.5 แสดงความต้านทานแรงดึง (MPa) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว MD	68
4.6 แสดงความต้านทานแรงดึง (MPa) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว CD	69
4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว MD	69
4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว CD	70
4.9 แสดงความต้านทานแรงดึง (MPa) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติต่างชนิดกัน ที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว MD	72
4.10 แสดงความต้านทานแรงดึง (MPa) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติต่างชนิดกัน ที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว CD	72
4.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติต่างชนิดกันที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว MD	73
4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชที่ผลิตจากวัตถุดิบทางธรรมชาติต่างชนิดกันที่ไม่ฝังดินและฝังดิน ในแนว CD	73
4.13 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BF) เปรียบเทียบระหว่างพลาสติกที่ไม่ฝังกับฝังดิน	75
4.14 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากปิโตรเลียม (BF/PV) เปรียบเทียบระหว่างพลาสติกที่ไม่ฝังกับฝังดิน	76
4.15 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากน้ำมันถั่วเหลือง (BF/SV) เปรียบเทียบกับพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ฝังดิน (BF/SV ฝังดิน)	77
4.16 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากไนโตรเซลลูโลส (BF/NV) เปรียบเทียบกับพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากไนโตรเซลลูโลสที่ฝังดิน (BF/NV ฝังดิน)	78

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
ก.1 พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	89
ก.2 ดินสวน	89
ก.3 เครื่องทดสอบการพิมพ์หมึกเหลว (RK Printing Proofer)	89
ก.4 โหลแก้วทดสอบพร้อมฝาปิด	89
ก.5 ตะแกรงร่อนดิน (Sieve เบอร์ 10)	90
ก.6 ตะแกรงเหล็กสำหรับวางรองปีกเกอร์	90
ก.7 เครื่อง Densitometer	90
ก.8 เครื่อง Gloss Meter	90
ก.9 เครื่องทดสอบการขีดข่วน	91
ก.10 เครื่อง Scanning Electron Microscope	91
ก.11 เครื่อง DSC 204 F1 Phoenix	91
ก.12 เครื่อง GPC	91
ข.1 ทดสอบพิมพ์	93
ข.2 วัดค่าความมันเงา	93
ข.3 ทดสอบความทนทานต่อการขีดข่วน (RK Printing Proofer)	93
ข.4 ร่อนดิน	93
ข.5 วางชั้นทดสอบเตรียมฝั ง	94
ข.6 ฝั งชั้นทดสอบ	94
ข.7 ปิดคลุมกันแสง	94
ก.8 ตัดชิ้นพลาสติกไปถ่ายภาพด้วย เครื่อง SEM	94
ข.9 วัดค่าความหนาของพลาสติก	95
ข.10 ทดสอบความต้านการแรงดึง	95
ข.11 ทดสอบหาจุดหลอมเหลว	95
ข.12 ทดสอบหาน้ำหนักโมเลกุล	95
จ.1 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BF)	104
จ.2 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ฝั งดิน (BF ฝั งดิน)	105

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า
จ.3 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากปีโตรเลียม (BF/PV)	106
จ.4 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากปีโตรเลียมที่ฝังดิน (BF/PV ฝังดิน)	107
จ.5 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากน้ำมันถั่วเหลือง ที่ไม่ฝังดิน (BF/SV)	108
จ.6 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากน้ำมันถั่วเหลือง ที่ฝังดิน (BF/SV ฝังดิน)	109
จ.7 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากไนโตรเซลลูโลส ที่ไม่ฝังดิน (BF/NV)	110
จ.8 แสดงค่าจุดหลอมเหลวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากไนโตรเซลลูโลส ที่ฝังดิน (BF/NV ฝังดิน)	111
จ.9 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (BF)	112
จ.10 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ฝังดิน (BF ฝังดิน)	113
จ.11 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากปีโตรเลียม (BF/PV)	114
จ.12 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากปีโตรเลียม ที่ฝังดิน (BF/PV ฝังดิน)	115
จ.13 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากน้ำมันถั่วเหลือง (BF/SV)	116
จ.14 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากน้ำมันถั่วเหลือง ที่ฝังดิน (BF/SV ฝังดิน)	117
จ.15 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากไนโตรเซลลูโลส (BF/NV)	118
จ.16 แสดงน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่เคลือบด้วยวาร์นิชจากไนโตรเซลลูโลส ที่ฝังดิน (BF/NV ฝังดิน)	119