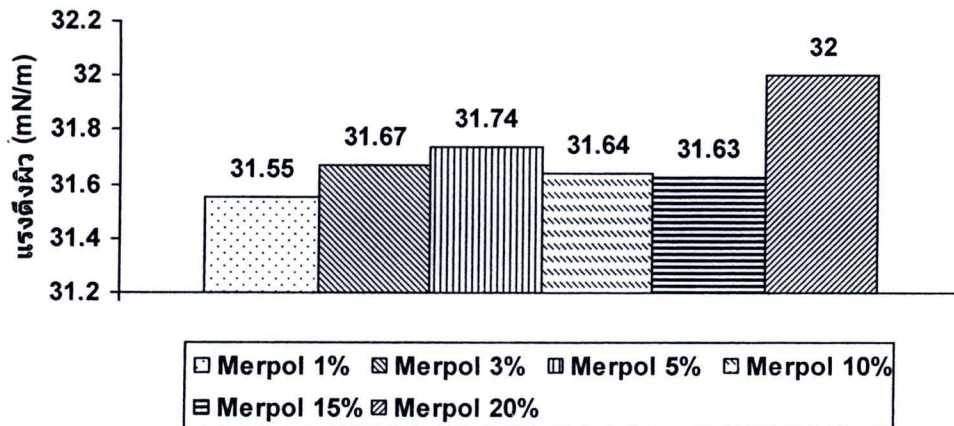


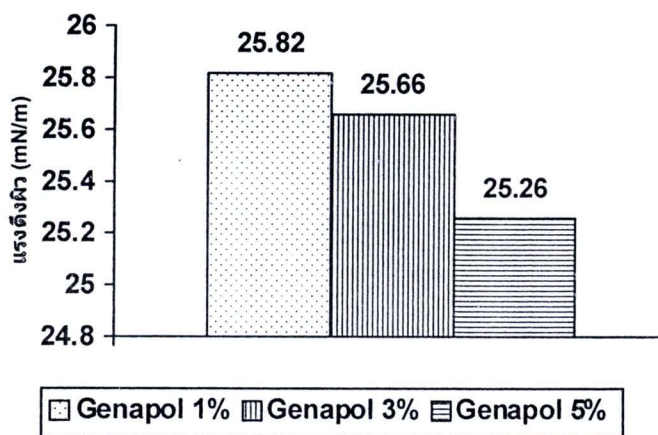
บทที่ 3 ผลการวิจัย

1. การศึกษาการดิ่งหมึกพิมพ์บนพลาสติกด้วยสารลดแรงตึงผิว

1.1 ผลการศึกษาชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมต่อการดิ่งหมึก



รูปที่ 3.1 ค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิว Alcohol Ethoxylate

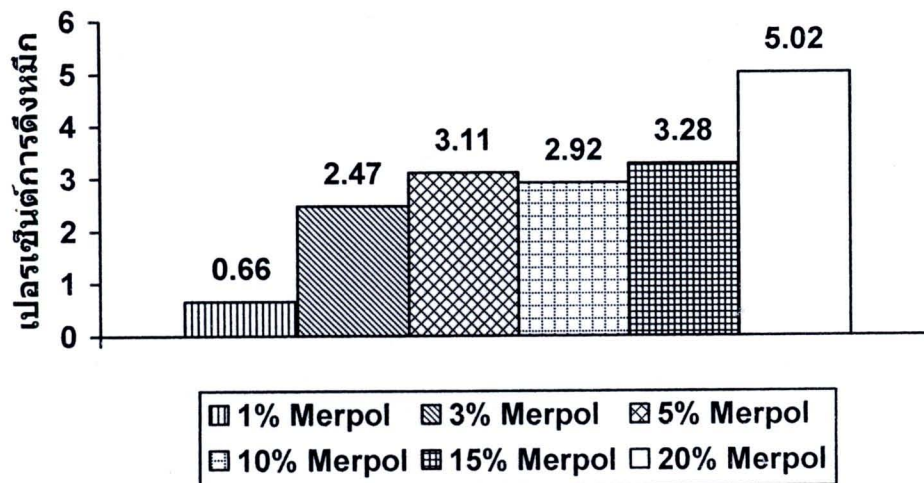


รูปที่ 3.2 แสดงค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิด PO-EO Block Copolymer

สารลดแรงตึงผิวชนิด Alcohol Ethoxylate ที่ความเข้มข้น 1-20 % จะมีค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวประมาณ 31-32 มิลลินิวตันต่อเมตร (mN/m) โดยสารลดแรงตึงผิวมีค่าแรงตึงผิวลดลงเมื่อมีปริมาณมากขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 3.1 ส่วนค่าแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิด PO-EO Block Copolymer ที่ความเข้มข้น 1-5 %

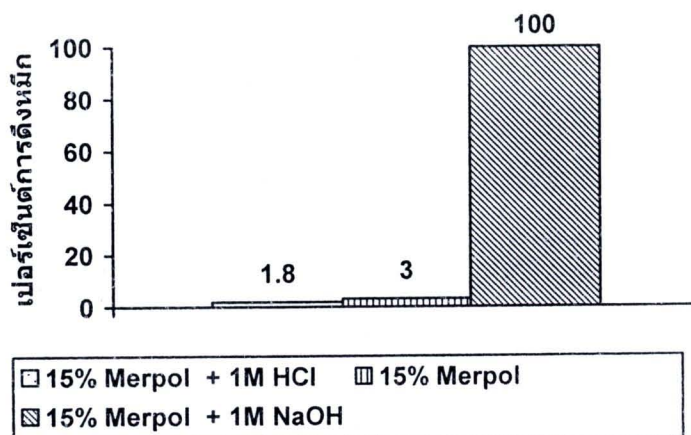
ของสารละลายมีค่าประมาณ 25-26 มิลลิวัตต์ต่อเมตร โดยสารลดแรงตึงผิวมีค่าแรงตึงผิวลดลงเมื่อมีปริมาณมากขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 3.2

1.2 ผลของการดึงหมึกด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด Alcohol Ethoxylate



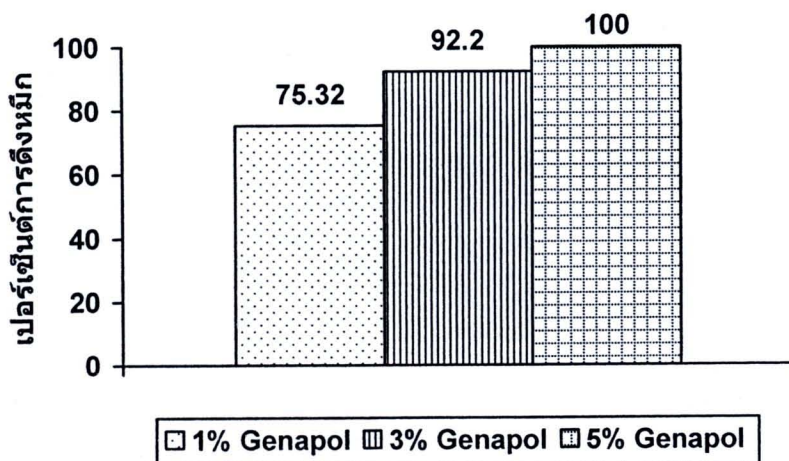
รูปที่ 3.3 การดึงหมึกด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด Alcohol Ethoxylate

สารลดแรงตึงผิวชนิด Alcohol Ethoxylate ที่ความเข้มข้น 1-20 % ของสารละลาย สามารถดึงหมึกออกจากผิวหน้าของพลาสติกฟิล์มได้ในช่วง 0 – 5 % โดยสารลดแรงตึงผิวที่มีเปอร์เซ็นต์การดึงหมึกมากที่สุด คือ สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 20 % คือ สามารถดึงหมึกออกได้ 5.02 % และสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงหมึกน้อยที่สุด คือ สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 1 % คือ สามารถดึงหมึกออกได้ 0.66 % เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์การดึงหมึก ดังรูปที่ 3.3



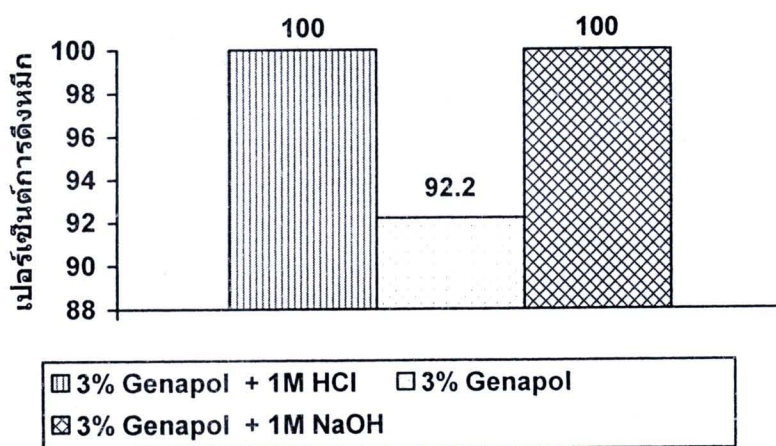
รูปที่ 3.4 การดึงหมึกออกด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด Alcohol Ethoxylate

สารลดแรงตึงผิวชนิด Alcohol Ethoxylate ความเข้มข้น 15 % ที่สภาวะเบส (pH 11) มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงหมึกสูงที่สุด คือ 100 % แต่สารลดแรงตึงผิวที่สภาวะกรด (pH 4) และเป็นกลางมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงหมึก เพียง 1.8 % และ 3 % ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5 การดึงหมึกออกจากด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด PO-EO Block Copolymer

จากรูปที่ 3.5 พบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด PO-EO Block Copolymer สามารถดึงหมึกออกจากผิวหน้าของพลาสติกได้ ช่วง 75 – 100 % โดยสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 5 % สามารถดึงหมึกออก 100 % และสารลดแรงตึงผิวที่สามารถดึงหมึกออกได้น้อยที่สุด คือ สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 1 % สามารถดึงหมึกออกได้ 75.32 % เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์การดึงหมึก



รูปที่ 3.6 การดึงหมึกออกจากด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิด PO-EO Block Copolymer ที่ความเข้มข้น 3 % ของสารละลายที่สภาวะเป็นกรดและเบส

จากรูปที่ 3.6 พบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด PO-EO Block Copolymer ที่ความเข้มข้น 3 % ในสถานะที่เป็นกรด (pH 4) และด่าง (pH 11) มีค่าเปอร์เซ็นต์การคั่งหมึกเท่ากัน คือ 100 % และในสถานะที่เป็นกลาง มีค่าเปอร์เซ็นต์การคั่งหมึก คือ 92.2 %



รูปที่ 3.7 ก. พลาสติกที่ยังไม่ผ่านการคั่งหมึก



ข. พลาสติกคั่งหมึกพิมพ์แล้ว

2. การศึกษาการขึ้นรูปและสมบัติของพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมแป้งข้าวเจ้า

2.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมแป้งข้าวเจ้า

จากการทดลองหลอมพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำด้วยเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์และรีไซเคิล ผสมกับผงแป้งข้าวเจ้าและกรดซิตริก พบว่าสัดส่วนที่สามารถขึ้นรูปพลาสติกได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณแป้งข้าวเจ้าและกรดซิตริกในพลาสติกพอลิเอทิลีน

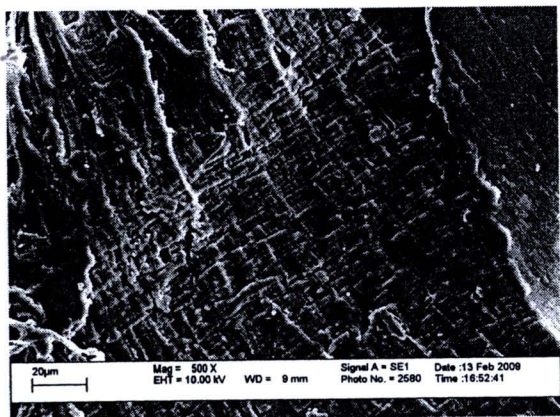
ชนิดพลาสติก	ส่วนประกอบ		อุณหภูมิหลอม (องศาเซลเซียส, °C)
	แป้งข้าวเจ้า %โดยน้ำหนัก	กรดซิตริก %โดยน้ำหนัก	
พลาสติกพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ (Virgin PE)	0.5	0.5	170°C
	1.0	1.0	170°C
พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิล (Recycled PE)	0.5	0.5	160°C
	0.5	1.0	160°C
	0.5	0.5	170°C
	1.0	1.0	170°C
	1.0	2.0	160°C
	3.0	2.0	160°C
	2.0	1.0	170°C

ชนิดพลาสติก	ส่วนประกอบ	อุณหภูมิหลอม (องศาเซลเซียส, °C)	ชนิดพลาสติก
พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผ่านการ ดิ่งหมัก (Deinked Recycle)	0.5	0.5	170°C
	1.0	1.0	170°C
	2.0	1.0	170°C
	3.0	1.5	170°C
พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผ่านการ ดิ่งหมักผสม พลาสติกพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์	3.0	1.5	170°C

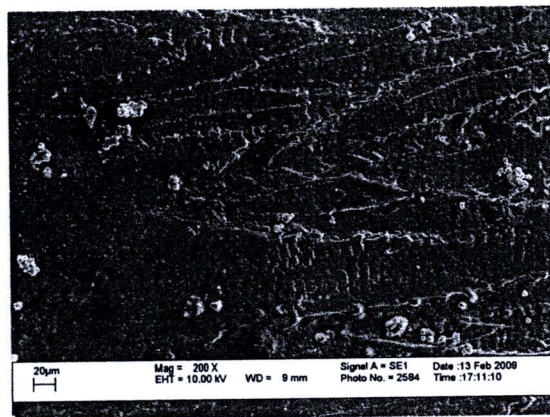
2.2 ผลการศึกษาพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมแป้งข้าวระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



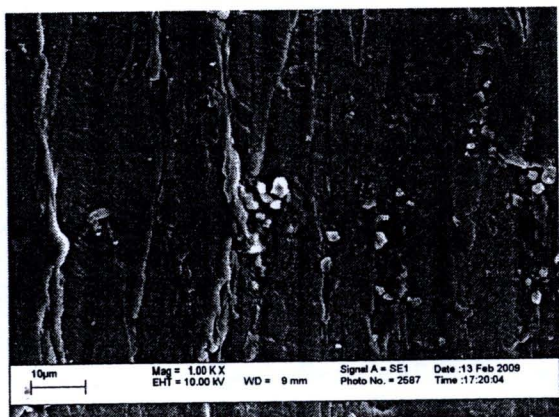
รูปที่ 3.8 พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผ่านการดิ่งหมัก (X 500)



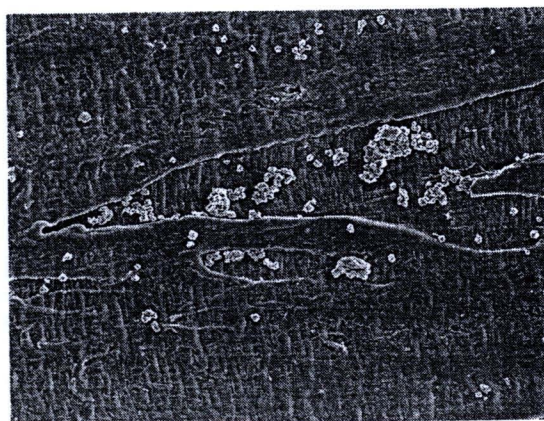
รูปที่ 3.9 พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผสม
แป้งข้าวเจ้า 3% และกรดซิตริก 2% โดยน้ำหนัก
(X 500)



รูปที่ 3.10 พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผ่าน
การดัดหมึก ผสมแป้งข้าวเจ้า 1% และกรดซิตริก 1%
โดยน้ำหนัก (X 200)



รูปที่ 3.11 พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผ่านการ
ดัดหมึก ผสมแป้งข้าวเจ้าและกรดซิตริก 0.5%



รูปที่ 3.12 พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผ่าน
การดัดหมึก ผสมแป้งข้าวเจ้า 2% และกรดซิตริก 1%



รูปที่ 3.13 พลาสติกพอลิเอทิลีนรีไซเคิลที่ผ่านการดัดหมึก ผสมแป้งข้าวเจ้า 3% และกรดซิตริก 1.5% โดยน้ำหนัก

2.3 การวัดค่าดัชนีการหลอมไหล (MFI) ของพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้า

จากการทดลองหาค่าดัชนีการหลอมไหลของพลาสติกที่ขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกพบว่าค่าดัชนีการหลอมไหลมีค่าอยู่ที่ช่วง 0.3-1.0 กรัม/10 นาที โดยพลาสติกที่ผ่านการดัดหมึก จะมีค่าดัชนีการหลอมไหลมาก คือประมาณ 0.5 กรัม/10 นาที และพลาสติกที่เป็นพลาสติกพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์จะมีค่าดัชนีการหลอมไหลน้อยคือ 0.341 ± 0.002 กรัม/10 นาที แต่เมื่อนำไปผสมกับแป้งแล้วกลับมีค่าดัชนีการหลอมไหลมากที่สุดคือ 1.147 ± 0.004 กรัม/10 นาที และพลาสติกที่ได้จากการผสมกันระหว่างพลาสติกที่ผ่านการดัดหมึกและพลาสติกพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์จะมีค่าดัชนีการหลอมไหลน้อยลงมากคือ 0.779 ± 0.002 กรัม/10 นาที ดังตารางที่ 3.2

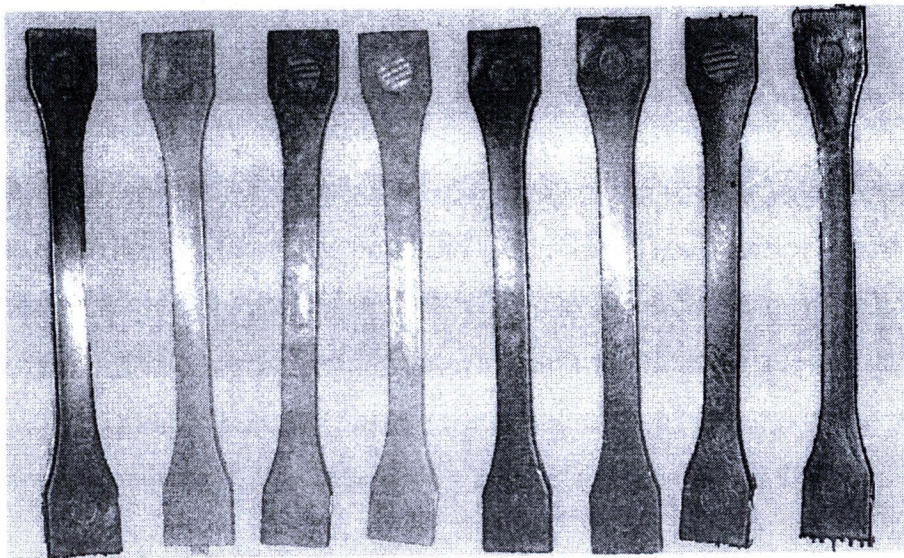
ตารางที่ 3.2 ดัชนีการหลอมไหลของพลาสติกที่นำมาขึ้นรูป

ตัวอย่างทดสอบ (No.)	อัตราส่วนของพลาสติกผสมแป้งและกรดซิตริก	อุณหภูมิหลอม (องศาเซลเซียส)	MFI (กรัม/10 นาที)
1.	PE (Virgin)	-	0.341 ± 0.002
2.	PE (Recycle)	-	0.309 ± 0.003
3.	PE (De-inked recycle)	-	0.559 ± 0.002
4.	Plastic; Virgin PE (0.5%Starch + 0.5%CA)	170°C	1.087 ± 0.004
5.	Plastic; Virgin PE (1.0%Starch + 1.0%CA)	170°C	1.147 ± 0.004
6.	Plastic; Recycle PE (0.5%Starch + 0.5%CA)	160°C	0.204 ± 0.004
7.	Plastic; Recycle PE (0.5%Starch + 1.0%CA)	160°C	0.243 ± 0.002
8.	Plastic; Recycle PE (0.5%Starch + 0.5%CA)	170°C	0.243 ± 0.003
9.	Plastic; Recycle PE (0.5%Starch + 0.5%CA)	170°C (ขึ้นรูปครั้งที่ 2)	0.282 ± 0.003
10.	Plastic; Recycle PE (1.0%Starch + 1.0%CA)	170°C	0.265 ± 0.001
11.	Plastic; Recycle PE (1.0%Starch + 2.0%CA)	160°C	0.245 ± 0.002
12.	Plastic; Recycle PE (3.0%Starch + 2.0%CA)	160°C (1-2 นาที)	0.626 ± 0.005
13.	Plastic; Recycle PE (3.0%Starch + 2.0%CA)	160°C (2-3 นาที)	0.248 ± 0.002
14.	Plastic; Recycle PE (2.0%Starch + 1.0%CA)	170°C	0.253 ± 0.004
15.	Plastic; De-inked PE (0.5%Starch + 0.5%CA)	170°C	0.543 ± 0.005

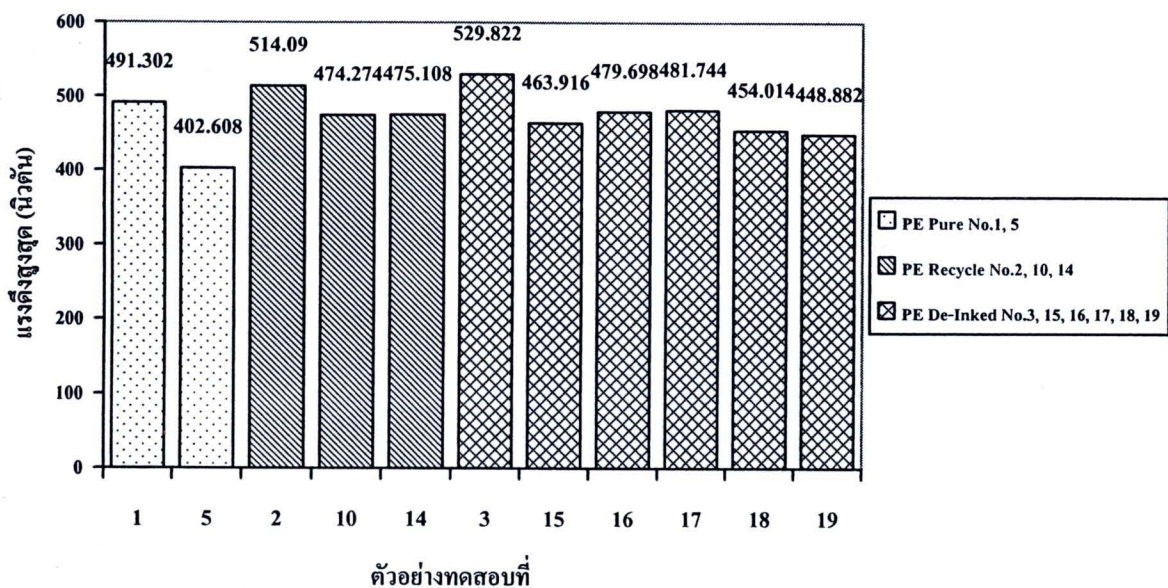
ตัวอย่าง ทดสอบ (No.)	อัตราส่วนของพลาสติกผสมแป้ง และกรดซิตริก	อุณหภูมิหลอม (องศาเซลเซียส)	MFI (กรัม/10 นาที)
16.	Plastic; De-inked PE (1.0 %Starch + 1.0%CA)	170°C	0.543±0.007
17.	Plastic; De-inked PE (2.0%Starch + 1.0%CA)	170°C	0.537±0.004
18.	Plastic; De-inked PE (3.0%Starch + 1.5%CA)	170°C	0.535±0.007
19.	Plastic; De-inked + Virgin PE (3%Starch + 1.5%Citric Acid)	170°C	0.779±0.002

2.4 ผลการศึกษาความทนทานต่อแรงดึงของพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้า

นำเม็ดพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้ามาขึ้นรูปด้วยเทคนิคฉีดขึ้นรูปเกลียวหนอนจนได้ชิ้นงานพลาสติกผสมแป้งดังรูปที่ 3.7



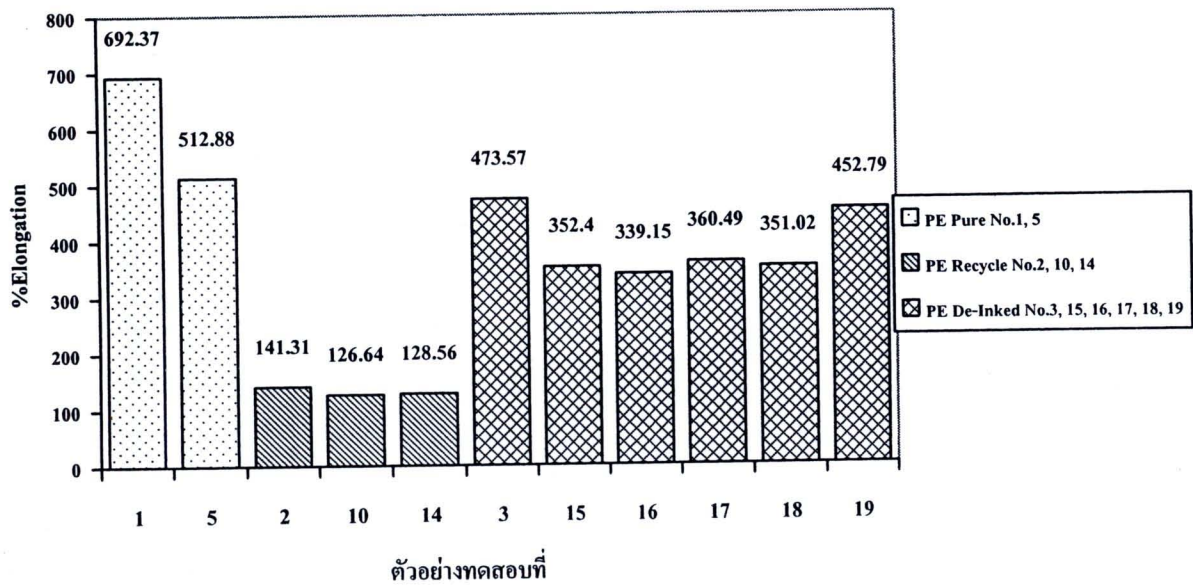
รูปที่ 3.14 ชิ้นงานพลาสติก LLDPE ผสมแป้งที่ขึ้นรูปเป็นคัมเบล



รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบความทนทานต่อแรงดึงของพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้า

จากรูปที่ 3.7 พบว่า พลาสติกแป้ง No.17 ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผ่านการดึงหมึกและมีอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 2% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก มีค่าทนต่อแรงดึงสูงสุด คือ 481.744 นิวตัน ในขณะที่พลาสติกแป้ง No.18 ซึ่งเป็นพลาสติกที่ผ่านการดึงหมึกและมีอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 3% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1.5% โดยน้ำหนัก มีค่าทนต่อแรงดึงต่ำที่สุด คือ 454.014 นิวตัน ซึ่งพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแป้งจะมีค่าความทนทานต่อแรงดึงมากกว่าพลาสติกผสมแป้งในทุกๆ อัตราส่วน และพลาสติกแป้ง No.19 ซึ่งมีอัตราส่วนผสมแป้งข้าวเจ้า 3% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1.5% โดยน้ำหนัก จะมีค่าทนต่อแรงเพิ่มขึ้นจากพลาสติกพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ผสมแป้ง No.5 มีอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 1% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก จาก 402.608 นิวตัน เป็น 448.882 นิวตัน

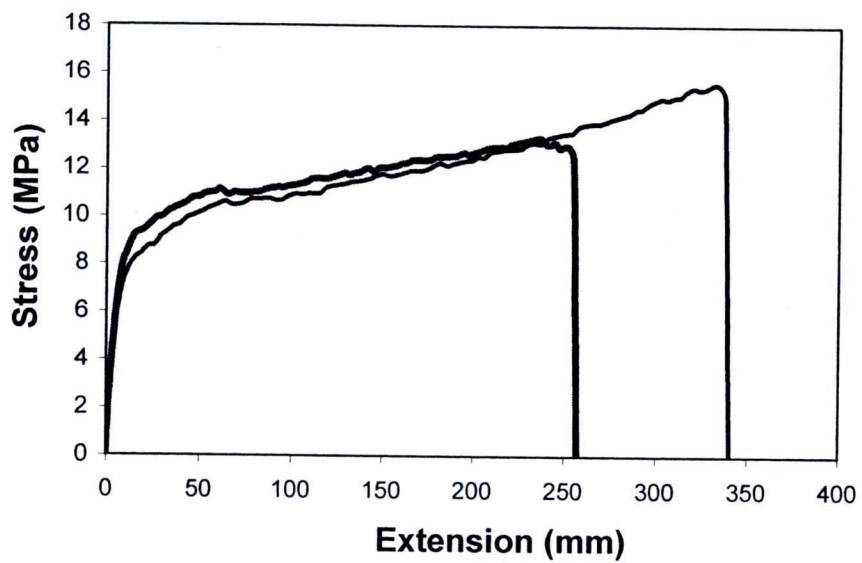
2.5 เปรียบเทียบการยึดตัวก่อนขาดของพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้า



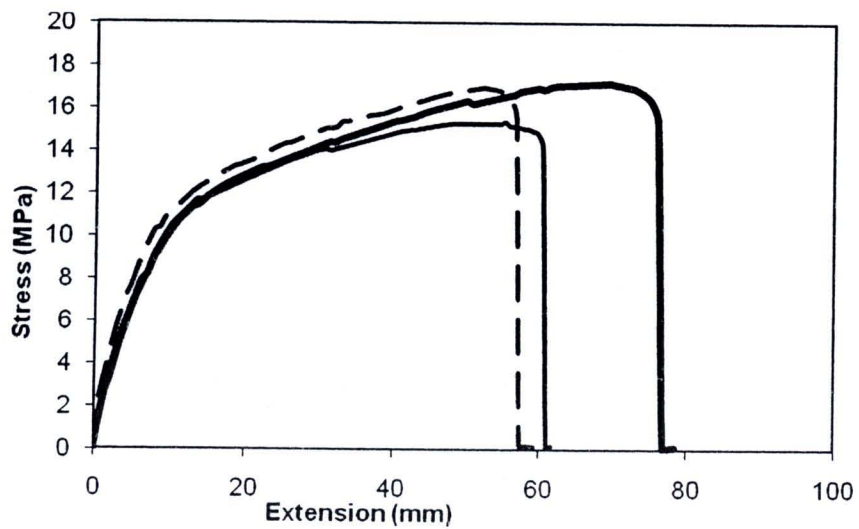
รูปที่ 3.16 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนขาดของพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้า

จากรูปที่ 3.8 พบว่าค่าการยืดตัวของพลาสติกแป้งอยู่ที่ 130 – 515% โดยพลาสติกแป้ง No.5 ซึ่งเป็นพลาสติกพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์และมีอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 1% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก มีค่าการยืดตัวสูงที่สุดคือ 512.88% และพลาสติกรีไซเคิลผสมแป้งที่มีอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 1% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก กับอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 2% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก มีค่าการยืดตัวใกล้เคียงกัน ซึ่งพลาสติกที่ไม่ได้ผสมแป้งจะมีค่าการยืดตัวมากกว่าพลาสติกผสมแป้งในทุกๆ อัตราส่วน และพลาสติกผสมแป้งที่ผ่านการคั่งหมัก No.17 มีอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 2% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก จะค่าการยืดตัวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกประเภทเดียวกัน คือ 360.49% ในขณะที่พลาสติกแป้งที่ผ่านการคั่งหมัก No.16 มีอัตราส่วนผสม แป้งข้าวเจ้า 1% โดยน้ำหนัก และ กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก มีค่าการยืดตัวต่ำที่สุดคือ 339.15%

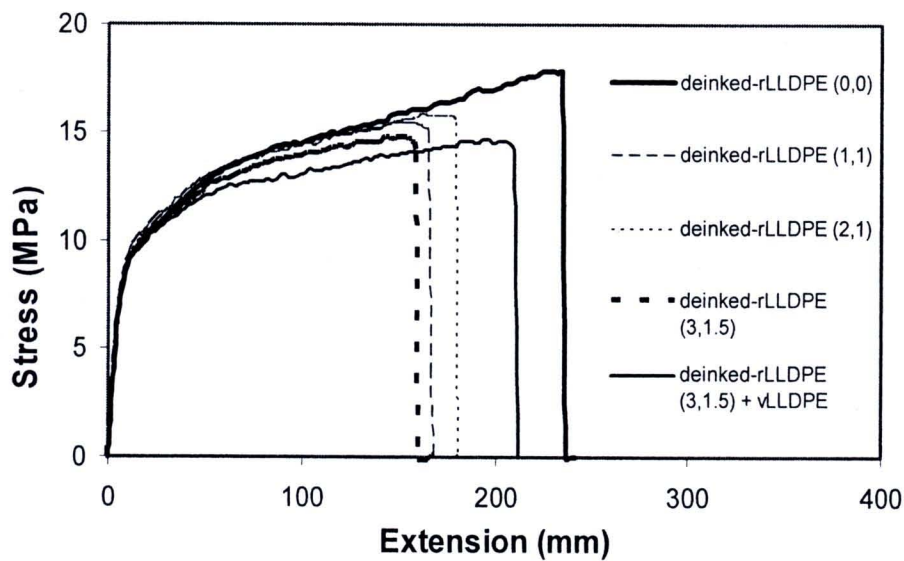
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไคอะแกรมความเค้น-ระยะยืด (Stress – Extension)



รูปที่ 3.17 Stress-extension curves of vLLDPE (0,0) (the light line) and vLLDPE (1,1) (the heavy line)



รูปที่ 3.18 Stress-extension curves of rLLDPE (0,0) (the heaviest line), rLLDPE (1,1) (the light line), and rLLDPE (2,1) (the dash line)



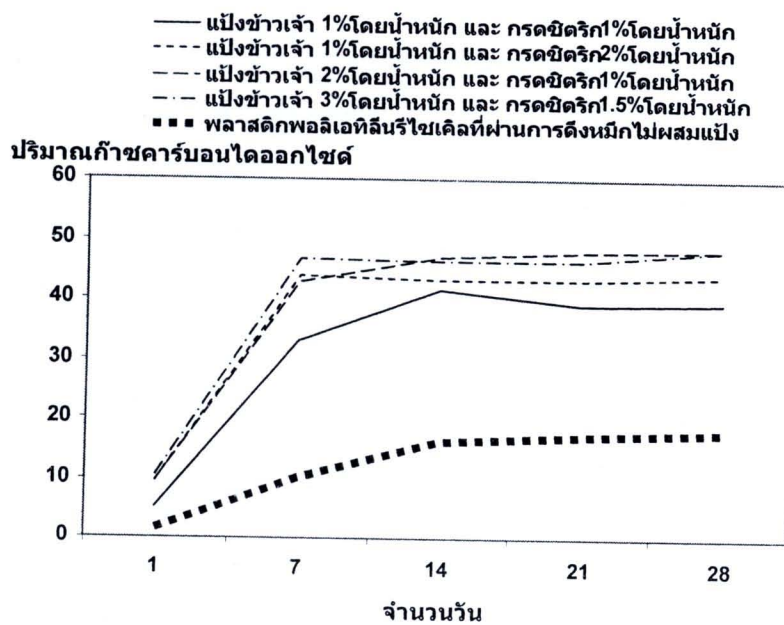
รูปที่ 3.19 Stress-extension curves of the deink-rLLDPE (0,0) (the heaviest line) and its rice starch blends

2.7 ผลการทดสอบการย่อยสลายในดินของพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้า

ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกผสมแป้งในดิน โดยดูจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเมื่อฝังกลบ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 พบว่าพลาสติกผสมแป้งข้าวเจ้ามีอัตราการย่อยสลายมากกว่าพลาสติกที่ไม่ผสมแป้งอย่างชัดเจน แต่พลาสติกที่ไม่ผสมแป้งมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 1-4 เกิดจากการย่อยสารอินทรีย์อื่นที่อยู่ในดิน ส่วนพลาสติกผสมแป้งที่มีอัตราการย่อยสลายมากที่สุดคือ ที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า 2% โดยน้ำหนัก กรดซิตริก 1% โดยน้ำหนัก และที่อัตราส่วน แป้งข้าวเจ้า 3% โดยน้ำหนัก กรดซิตริก 1.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีอัตราการย่อยมากกว่าถึง 2 เท่า เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีมาก และพลาสติกที่มีปริมาณแป้งผสมยิ่งมากจะมีอัตราการย่อยสลายมากกว่าพลาสติกที่มีปริมาณแป้งผสมอยู่น้อย

ตารางที่ 3.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ โดยปริมาตร

แบ่งข้าวเจ้า:กรดซิตริก (%โดยน้ำหนัก)	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ร้อยละ โดยปริมาตร)				
	1 วัน	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
1: 1	5.13569	33.06973	41.59166	39.15686	43.65283
1: 2	9.55100	43.90842	43.10974	43.02182	48.2804
2: 1	9.60980	42.79696	47.0699	47.93789	48.40848
3: 1.5	10.43954	46.66589	46.31403	46.2824	17.85564
0	1.68702	10.07850	16.22758	17.2414	17.85564



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น