

บทที่ 3

ผลการวิจัย

3.1 การผลิต PHA ที่มีองค์ประกอบของโมโนเมอร์แตกต่างกันจาก *Alcaligenes* sp. A-04

จากการเลี้ยง *Alcaligenes* sp. A-04 โดยทำการเลี้ยงในอาหารเหลวสำหรับเลี้ยงกล้าเชื้อ เพื่อให้เชื้อมีการเจริญเติบโตเต็มที่เป็นเวลา 24 ชม. บนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 °ซ แล้วจึงถ่ายเชื้อที่มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นเท่ากับ 12 กรัม(น้ำหนักเซลล์เปียก)ต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณเชื้อที่ทดสอบจากงานวิจัยของอัญชญา สุรดิขจร (2537) แล้วทำให้การผลิต PHA ได้สูงสุด ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อการผลิต PHA ในถังหมักขนาด 5 ลิตร โดยใช้ปริมาตรอาหารเริ่มต้น 3 ลิตร และใช้กรดบิวทีริก กรดวาเลอริก และโซเดียม-4-ไฮดรอกซีบิวทีเรตเป็นแหล่งคาร์บอนผสมความเข้มข้นรวม 20 กรัมต่อลิตร ในอัตราส่วนต่างกันในการผลิต PHA ที่มีองค์ประกอบต่างกันจากแนวทางงานวิจัยของอัญชญา สุรดิขจร (2537) และควบคุมภาวะการเลี้ยงในถังหมักตามรายงานของชัญญะ ผลประไพ (2537) คือ อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที อัตราการให้อากาศ 1.8 ลิตรต่อลิตรอาหารเลี้ยงเชื้อต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 °ซ พีเอช 7.0±0.5 ทำการเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 60 ชม. ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 6 พบว่าเมื่อให้แหล่งคาร์บอนเป็นกรดบิวทีริก 20 กรัมต่อลิตร เชื้อมีการเจริญอย่างรวดเร็วจนได้ความเข้มข้นเซลล์สูงสุดที่ 48 ชม.เท่ากับ 7.30 กรัมต่อลิตร โดยมีการใช้กรดบิวทีริกในการผลิต PHA และได้ความเข้มข้นของ PHA สูงสุดที่ 48 ชม.เท่ากับร้อยละ 9.315 ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง และเมื่อใช้แหล่งคาร์บอนเป็นกรดบิวทีริกและกรดวาเลอริกในอัตราส่วน 2 ต่อ 3 พบว่า *Alcaligenes* sp. A-04 จะใช้แหล่งคาร์บอนผสมในการผลิต PHA โดยมีการเจริญสูงสุดที่ 48 ชม.เท่ากับ 8.80 กรัมต่อลิตร และให้ความเข้มข้น PHA สูงสุดที่ 48 ชม.เท่ากับร้อยละ 12.10 ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง และเมื่อใช้กรดบิวทีริกและโซเดียม-4-ไฮดรอกซีบิวทีเรตเป็นแหล่งคาร์บอนในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ในการผลิต PHA พบว่าเชื้อมีการเจริญสูงสุดที่ 48 ชม. โดยได้ปริมาณเซลล์เท่ากับ 4.79 กรัมต่อลิตร และให้การผลิต PHA สูงสุดที่เวลาเดียวกันเท่ากับร้อยละ 7.22 ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง และเมื่อใช้แหล่งคาร์บอนผสมของกรดบิวทีริก กรดวาเลอริก และโซเดียม-4-ไฮดรอกซีบิวทีเรตในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ต่อ 2 เป็นสารตั้งต้นในการผลิต PHA พบว่ามีการผลิต PHA ได้สูงสุดที่ 48 ชม. โดยได้ความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ 6.715 กรัมต่อลิตร และได้ปริมาณ PHA ร้อยละ 6.31 ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง

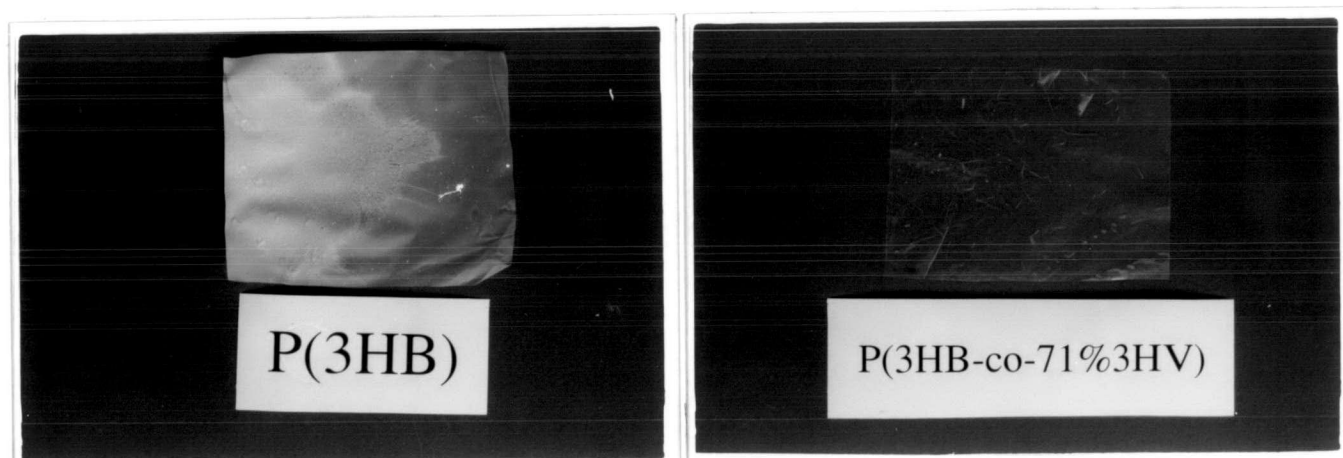
เมื่อทำการสกัดแยก PHA แต่ละชนิดที่ผลิตได้จากเซลล์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ กำจัดสารละลายไขมันอื่นด้วยอะซิโตนและเอทานอล สกัดแยก PHA ในตัวทำละลายที่เป็น คลอโรฟอร์ม และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตกตะกอนในเมทานอลและไดเอทิล อีเทอร์แล้ว PHA ชนิดต่างๆที่ได้นำมาตรวจสอบชนิดและองค์ประกอบของพอลิเมอร์ที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง GC ผลการวิจัยพบว่า *Alcaligenes* sp. A-04 สามารถใช้แหล่งคาร์บอนผสมระหว่าง กรดบิวทีริก กรดวาเลอริก และโซเดียม-4-ไฮดรอกซีบิวทีเรตในการผลิต PHA ที่มีองค์ประกอบ ของโมโนเมอร์ต่างๆกันคือ 3HB, 3HV และ 4HB ได้ โดยปริมาณโมโนเมอร์แต่ละชนิดจะต่าง กันตามอัตราส่วนของแหล่งคาร์บอนที่ให้ และจากผลการทดลองสรุปได้ว่า *Alcaligenes* sp. A-04 ใช้แหล่งคาร์บอนที่เป็นกรดบิวทีริกในการผลิตโฮโมพอลิเมอร์ P(3HB) ใช้แหล่งคาร์บอนที่เป็น กรดบิวทีริกและกรดวาเลอริกในอัตราส่วน 2 ต่อ 3 ในการผลิตโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อใช้แหล่งคาร์บอนเป็นกรดบิวทีริกและโซเดียม-4-ไฮดรอกซีบิวทีเรตในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ผลิตได้โคพอลิเมอร์ P(3HB-co-23%4HB) และผลิตได้เทอร์พอลิเมอร์ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อใช้แหล่งคาร์บอนที่เป็นกรดบิวทีริก กรดวาเลอริก และโซเดียม-4-ไฮดรอกซี บิวทีเรตในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ต่อ 2

ตารางที่ 6 การผลิต PHA ที่มีองค์ประกอบของโมโนเมอร์แตกต่างกันโดย *Alcaligenes* sp. A-04 เมื่อใช้ชนิดและปริมาณของแหล่งคาร์บอนผสมต่างกัน

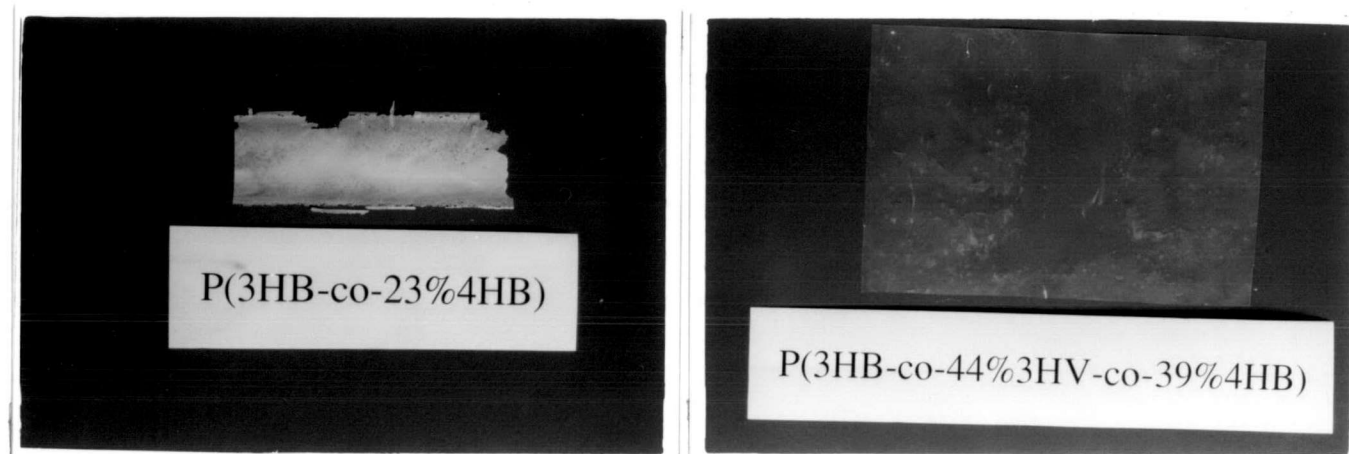
| ชนิดของ PHA | แหล่งคาร์บอนผสม (กรัมต่อลิตร) | | | ความเข้มข้นเซลล์สูงสุด (กรัมต่อลิตร) | รอยละต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง ของ PHA |
|----------------------------|-------------------------------|-------------|----------------------------|---|-------------------------------------|
| | กรดบิวทิริก | กรดวาเลอริก | โซเดียม-4-ไฮดรอกซีบิวทิเรต | | |
| P(3HB) | 20 | - | - | 7.30 | 9.315 |
| P(3HB-co-71%3HV) | 8 | 12 | - | 8.80 | 12.10 |
| P(3HB-co-23%4HB) | 15 | - | 5 | 4.79 | 7.22 |
| P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) | 8 | 4 | 8 | 6.715 | 6.31 |

3.2 การเตรียมตัวอย่าง PHA ที่ผลิตได้เพื่อทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

PHA ชนิดต่างๆที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์และทำให้บริสุทธิ์ด้วยการตกตะกอนด้วยเมทานอลและไดเอทิลอีเทอร์แล้ว มีลักษณะเป็นตะกอนสีขาว เมื่อนำมาละลายในคลอโรฟอร์มได้สารละลายใส และเมื่อทิ้งให้คลอโรฟอร์มระเหยไปอย่างช้าๆที่อุณหภูมิห้องจนหมด ได้แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นได้แตกต่างกัน กล่าวคือ โสโมพอลิเมอร์ของ P(3HB) มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นและมีความเปราะ เมื่อทำเป็นแผ่นฟิล์มบนกระจกพื้นเรียบและทิ้งไว้ให้คลอโรฟอร์มระเหยไปที่อุณหภูมิห้อง แผ่นฟิล์มไม่เป็นแผ่นเดียวแต่ร้อนหลุดออกมาเป็นชิ้นเล็กหลายขนาด การทำให้ได้เป็นแผ่นต้องให้สารละลายของพอลิเมอร์มีความเข้มข้นมาก ส่วนโคพอลิเมอร์ของ P(3HB-co-71%3HV) มีลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ใสขุ่นและมีความเหนียว โดยเมื่อนำมาแผ่เป็นแผ่นฟิล์มบนกระจกพื้นเรียบและทิ้งให้คลอโรฟอร์มระเหยไปจนหมด ได้แผ่นฟิล์มที่ใสและเหนียวโดยไม่มีกรร่อนจึงต้องลอกแผ่นฟิล์มออกมา และการลอกแผ่นฟิล์มต้องทำอย่างระมัดระวังเนื่องจากมีความเหนียวทำให้แผ่นฟิล์มย่นและมีการทับซ้อนกัน ส่วนโคพอลิเมอร์ของ P(3HB-co-23%4HB) มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นเหมือน P(3HB) แต่มีความเป็นมันวาวและมีความเหนียวมากกว่าฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) โดยเมื่อทำการแผ่บนกระจกพื้นเรียบ ได้แผ่นฟิล์มที่ร้อนออกมาได้ง่ายและเป็นแผ่โดยไม่ขาด ส่วนเทอร์พอลิเมอร์ของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ที่ผลิตได้ เมื่อนำมาแผ่เป็นแผ่นฟิล์ม ได้แผ่นฟิล์มที่มีลักษณะโปร่งแสง (transparent) แต่ไม่ใส (translucent) มีความเหนียวและสามารถร้อนออกมาได้ง่ายเนื่องมาจากการมี 3HV เป็นส่วนประกอบทำให้มีความใสขุ่น และการมี 4HB ทำให้มีความเหนียวคล้ายยางจึงไม่ขาด รูปที่ 3 แสดงลักษณะของพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด



รูปที่ 3 แผ่นฟิล์ม PHA 4 ชนิดที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันที่ผลิตโดย *Alcaligenes* sp. A-04



รูปที่ 3(ต่อ)

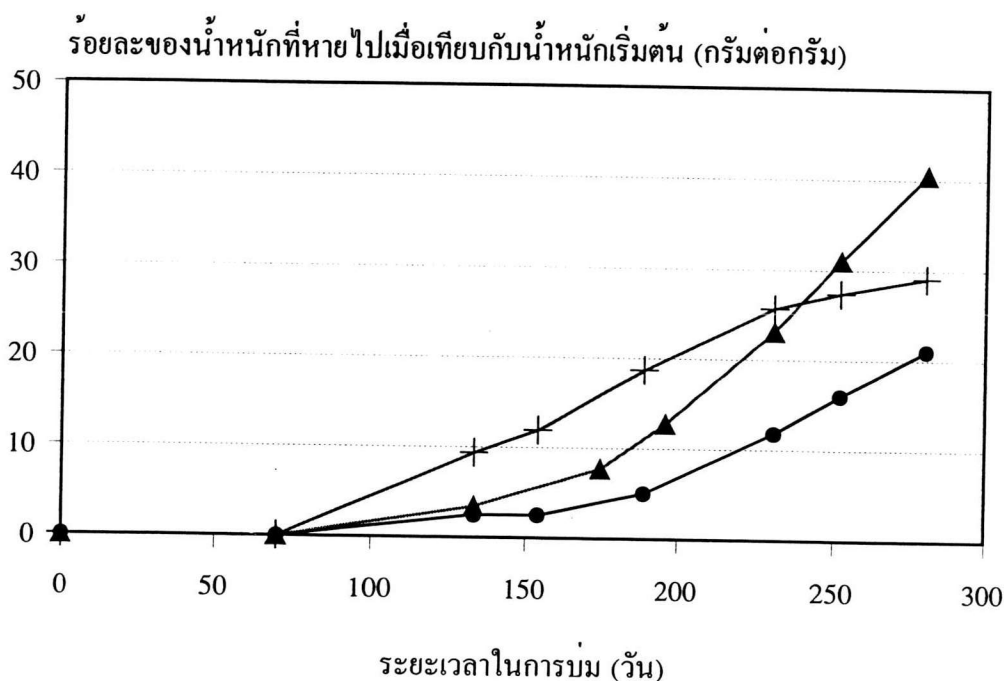
เมื่อได้แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด หลังจากทำการแผ่เป็นแผ่นฟิล์มและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์เพื่อให้พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอเข้าสู่สมดุลทั่วแผ่นแล้ว นำมาตัดเป็นชิ้นขนาด 1 ซม. × 1 ซม. × 0.05 มม. เพื่อใช้เป็นชิ้นทดสอบในการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ และตัดเป็นชิ้นขนาด 1 ซม. × 2 ซม. × 0.05 มม. สำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพในดิน โดยรูปที่ 4 แสดงตัวอย่างชิ้นทดสอบทั้ง 2 ขนาด



รูปที่ 4 ตัวอย่างชิ้นทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA ทั้ง 4 ชนิด

3.3 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ

เมื่อทำการบ่มชิ้นตัวอย่างพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิดได้แก่ P(3HB) P(3HB-co-71%3HV) P(3HB-co-23%4HB) และ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิคือ 30 40 และ 55 °ซ พบว่าพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิดมีอัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกัน และในแต่ละชนิดก็มีอัตราการย่อยสลายที่ต่างกันเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิต่างกันด้วย โดยพิจารณาการย่อยสลายพอลิเมอร์แต่ละชนิด ดังนี้ พอลิเมอร์ชนิดแรกได้แก่ P(3HB) เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 280 วัน พบว่าในช่วงแรกของการทดลอง (70 วันแรก) น้ำหนักของพอลิเมอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่หลังจากนั้นน้ำหนักของพอลิเมอร์ลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลา และอัตราการลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิทั้ง 3 อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยน้ำหนักของ P(3HB) เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ มีการลดลงในอัตราที่เร็วกว่าเมื่อบ่มที่ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 280 วัน ร้อยละของน้ำหนัก P(3HB) ที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 78.99 70.94 และ 59.48 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันเท่ากับ 0.075 0.10 และ 0.14 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5 และตารางที่ 7



รูปที่ 5 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB) ใน 0.01 โมลาร์ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

●-30 องศาเซลเซียส + -40 องศาเซลเซียส ▲-55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 7 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB) ในสารละลาย
ฟอสเฟตบัฟเฟอร์บัลอคเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|---------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.3 | 97.52 | 2.48 | 0.02 |
| 154 | 0.3 | 97.50 | 2.50 | 0.02 |
| 189 | 0.6 | 95.00 | 5.00 | 0.03 |
| 231 | 1.4 | 88.24 | 11.76 | 0.05 |
| 252 | 1.9 | 84.03 | 15.97 | 0.06 |
| 280 | 2.5 | 78.99 | 21.01 | 0.075 |

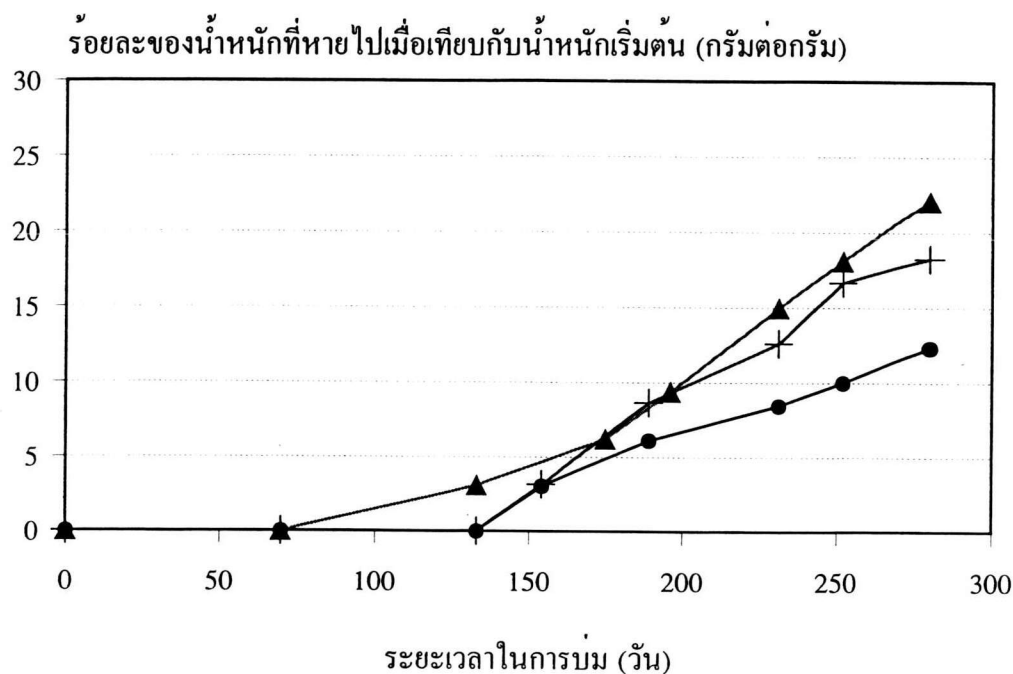
ข) บมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|---------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 1.1 | 90.68 | 9.32 | 0.07 |
| 154 | 1.4 | 88.14 | 11.86 | 0.08 |
| 189 | 2.2 | 81.36 | 18.64 | 0.10 |
| 231 | 3.0 | 74.36 | 25.64 | 0.11 |
| 252 | 3.2 | 72.65 | 27.35 | 0.11 |
| 280 | 3.4 | 70.94 | 29.06 | 0.10 |

ค) บมที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|---------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.4 | 96.58 | 3.42 | 0.03 |
| 175 | 0.9 | 92.31 | 7.69 | 0.05 |
| 196 | 1.5 | 87.29 | 12.71 | 0.06 |
| 231 | 3.0 | 76.92 | 23.08 | 0.10 |
| 252 | 3.6 | 68.97 | 31.03 | 0.12 |
| 280 | 4.7 | 59.48 | 40.52 | 0.14 |

การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเมอร์ชนิดที่ 2 คือ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิคือ 30 °ซ 40 และ 55 °ซ พบว่า P(3HB-co-71%3HV) ถูกย่อยสลายได้อย่างช้าๆ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อที่ทั้ง 3 อุณหภูมิในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 6 และตารางที่ 8 โดยที่อุณหภูมิ 30 °ซ น้ำหนักของพอลิเมอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 133 วัน แต่หลังจากนั้นมีการลดลงของน้ำหนักเป็นสัดส่วนกับเวลา และไครยละของน้ำหนักที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 280 วันเท่ากับ 87.69 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันเท่ากับ 0.04 เมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักของพอลิเมอร์เป็นเวลา 133 วันเช่นกัน แต่หลังจากนั้นมีการลดลงของน้ำหนักในอัตราที่สูงกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ และไครยละของน้ำหนักที่เหลืออยู่เทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเมื่อบ่มเป็นเวลา 280 วันเท่ากับ 81.75 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันเท่ากับ 0.065 และเมื่อบ่ม P(3HB-co-71%3HV) ที่อุณหภูมิ 55 °ซ พบว่าน้ำหนักของพอลิเมอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนานเป็นเวลา 70 วัน แต่หลังจากนั้นมีการลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์เป็นสัดส่วนกับเวลาโดยมีอัตราการลดลงของน้ำหนักที่เร็วกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ และไครยละของน้ำหนักที่เหลืออยู่เทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 280 วันเท่ากับ 77.95 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันเท่ากับ 0.08



รูปที่ 6 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-71%3HV) ใน 0.01 โมลาร์ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

● 30 องศาเซลเซียส + 40 องศาเซลเซียส ▲ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 8 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-71%3HV) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 154 | 0.4 | 96.95 | 3.05 | 0.02 |
| 189 | 0.8 | 93.89 | 6.11 | 0.03 |
| 231 | 1.1 | 91.54 | 8.46 | 0.04 |
| 252 | 1.3 | 90.00 | 10.00 | 0.04 |
| 280 | 1.6 | 87.69 | 12.31 | 0.04 |

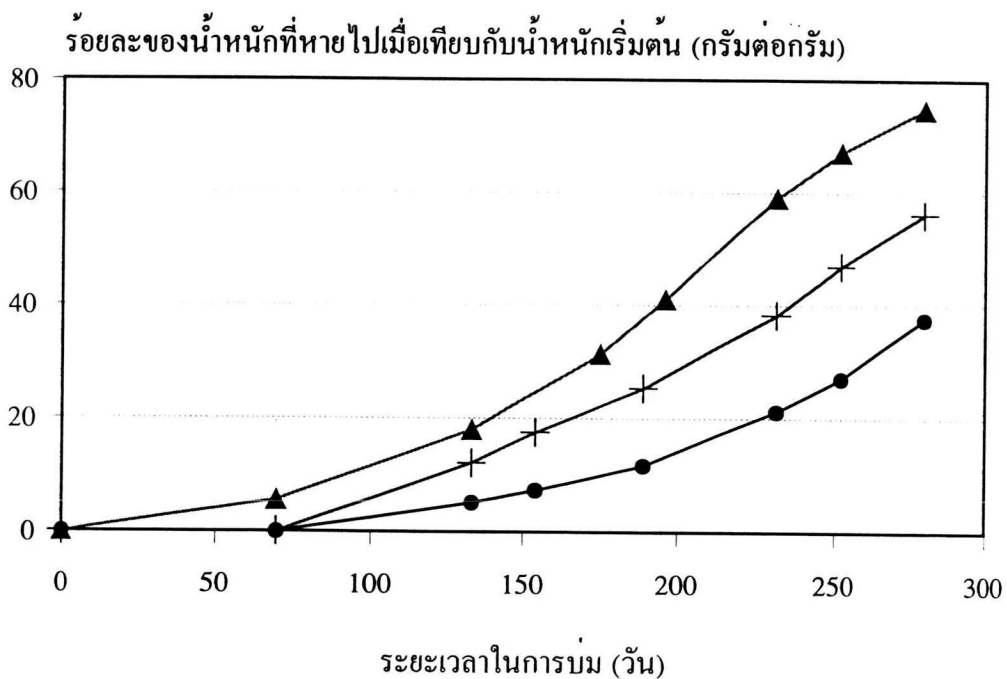
ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 154 | 0.4 | 96.85 | 3.15 | 0.02 |
| 189 | 1.1 | 91.34 | 8.66 | 0.04 |
| 231 | 1.6 | 87.40 | 12.60 | 0.05 |
| 252 | 2.1 | 83.33 | 16.67 | 0.07 |
| 280 | 2.3 | 81.75 | 18.25 | 0.065 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.4 | 96.90 | 3.10 | 0.02 |
| 175 | 0.8 | 93.80 | 6.20 | 0.04 |
| 196 | 1.2 | 90.625 | 9.375 | 0.05 |
| 231 | 1.9 | 85.04 | 14.96 | 0.06 |
| 252 | 2.3 | 81.89 | 18.11 | 0.07 |
| 280 | 2.8 | 77.95 | 22.05 | 0.08 |

การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเมอร์ชนิดที่ 3 ซึ่งได้แก่ P(3HB-co-23%4HB) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิคือ 30 40 และ 55 °ซ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 7 และตารางที่ 9 พบว่า การย่อยสลายของ P(3HB-co-23%4HB) เกิดขึ้นได้ดีเมื่อทำการบ่มในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อที่ทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยเมื่อบ่มขึ้นพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °ซ ในช่วง 70 วันแรกของการทดลอง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ แต่หลังจากนั้นน้ำหนักของพอลิเมอร์ลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในอัตราที่แตกต่างกันคือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ ลดลงในอัตราที่ช้ากว่าเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ และเมื่อบ่มขึ้นพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 55 °ซ มีอัตราการย่อยสลายที่ดีที่สุด ผลจากการย่อยสลายทำให้ได้ร้อยละของน้ำหนักที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 25.17 43.85 และ 62.50 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันเท่ากับ 0.27 0.20 และ 0.13 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 280 วันที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ตามลำดับ



รูปที่ 7 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-23%4HB) ใน 0.01 โมลาร์ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

● 30 องศาเซลเซียส + 40 องศาเซลเซียส ▲ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 9 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-23%4HB) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|---------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.7 | 94.93 | 5.07 | 0.04 |
| 154 | 1.1 | 92.75 | 7.25 | 0.05 |
| 189 | 1.6 | 88.41 | 11.59 | 0.06 |
| 231 | 2.9 | 78.83 | 21.17 | 0.09 |
| 252 | 3.7 | 73.00 | 27.00 | 0.11 |
| 280 | 5.1 | 62.50 | 37.50 | 0.13 |

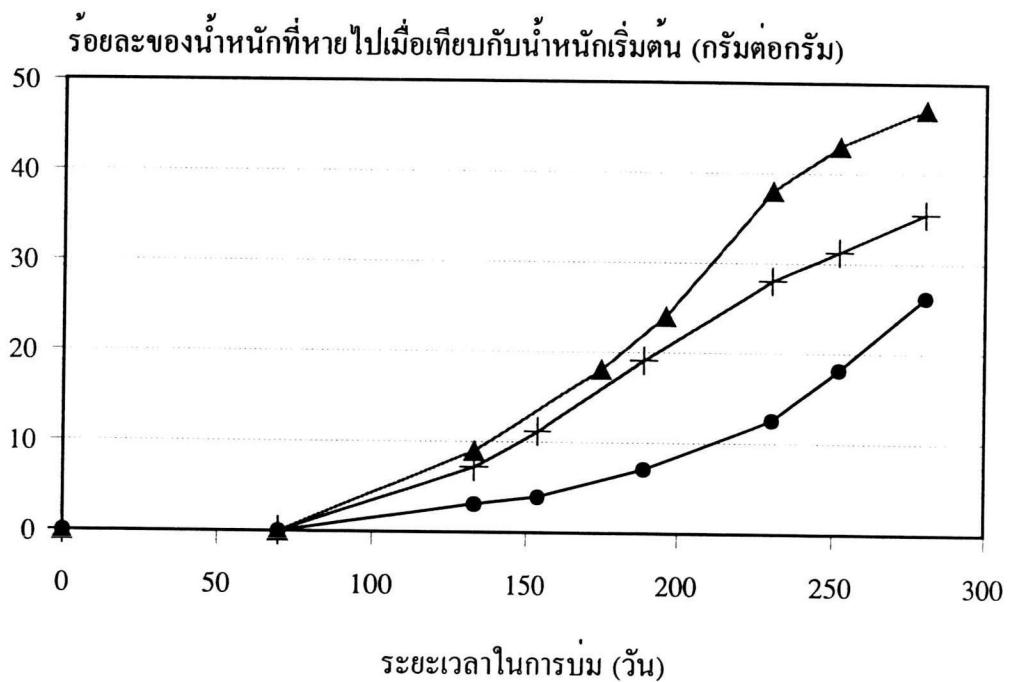
ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|---------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 1.6 | 87.97 | 12.03 | 0.09 |
| 154 | 2.3 | 82.58 | 17.42 | 0.11 |
| 189 | 3.3 | 74.81 | 25.19 | 0.13 |
| 231 | 5.0 | 61.83 | 38.17 | 0.17 |
| 252 | 6.1 | 53.08 | 46.92 | 0.19 |
| 280 | 7.3 | 43.85 | 56.15 | 0.20 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|---------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.8 | 94.48 | 5.52 | 0.08 |
| 133 | 2.6 | 82.07 | 17.93 | 0.13 |
| 175 | 4.5 | 68.75 | 31.25 | 0.18 |
| 196 | 5.9 | 59.03 | 40.97 | 0.21 |
| 231 | 8.5 | 40.97 | 59.03 | 0.26 |
| 252 | 9.6 | 32.87 | 67.13 | 0.27 |
| 280 | 10.7 | 25.17 | 74.83 | 0.27 |

การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเมอร์ชนิดที่ 4 ได้แก่ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิคือ 30 °ซ 40 และ 55 °ซ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 และตารางที่ 10 พบว่าการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีที่ทั้ง 3 อุณหภูมิ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเมื่อบ่มในช่วงแรกเป็นระยะเวลา 70 วัน แต่หลังจากนั้นน้ำหนักของพอลิเมอร์ลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลา และร้อยละของน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 280 วัน ที่อุณหภูมิ 30 °ซ เท่ากับ 73.81 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันเท่ากับ 0.09 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 40 และ 55 °ซ มีการลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ในอัตราที่สูงขึ้น โดยได้ร้อยละของน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 64.52 และ 52.89 คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันเท่ากับ 0.13 และ 0.17 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 280 วัน



รูปที่ 8 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ใน 0.01 โมลาร์สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

● 30 องศาเซลเซียส + 40 องศาเซลเซียส ▲ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 10 การย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปิดกั้นเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์
พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|---------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.4 | 96.92 | 3.08 | 0.02 |
| 154 | 0.5 | 96.09 | 3.91 | 0.025 |
| 189 | 0.9 | 92.97 | 7.03 | 0.04 |
| 231 | 1.6 | 87.50 | 12.50 | 0.05 |
| 252 | 2.3 | 81.89 | 18.11 | 0.07 |
| 280 | 3.3 | 73.81 | 26.19 | 0.09 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|---------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 0.9 | 92.86 | 7.14 | 0.05 |
| 154 | 1.4 | 88.89 | 11.11 | 0.07 |
| 189 | 2.4 | 80.95 | 19.05 | 0.10 |
| 231 | 3.5 | 72.00 | 28.00 | 0.12 |
| 252 | 3.9 | 68.80 | 31.20 | 0.12 |
| 280 | 4.4 | 64.52 | 35.48 | 0.13 |

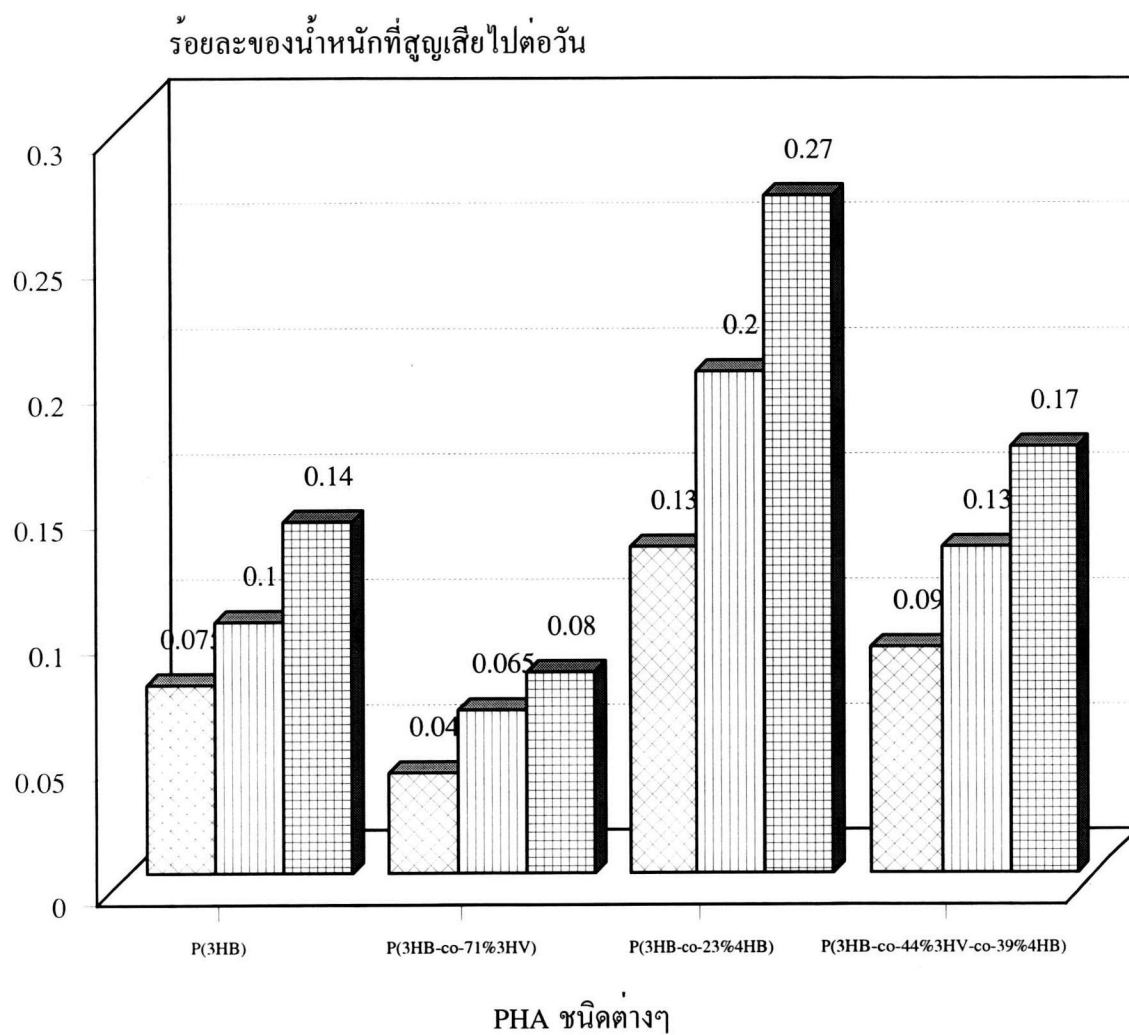
ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|---------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 133 | 1.1 | 91.06 | 8.94 | 0.07 |
| 175 | 2.2 | 81.97 | 18.03 | 0.10 |
| 196 | 2.9 | 76.03 | 23.97 | 0.12 |
| 231 | 4.6 | 61.98 | 38.02 | 0.16 |
| 252 | 5.2 | 57.02 | 42.98 | 0.17 |
| 280 | 5.7 | 52.89 | 47.11 | 0.17 |

จากผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิดในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า PHA สามารถถูกย่อยสลายได้ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ โดยการย่อยสลายของ PHA ทุกชนิดพบว่าเกิดในช่วงหลังคือ ในช่วงแรกของการทดลอง (70-140 วัน) ไม่มีการลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ แต่หลังจากนั้นน้ำหนักของพอลิเมอร์ลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลา และมีอัตราการลดลงแตกต่างกันตามชนิดของพอลิเมอร์และอุณหภูมิที่บ่ม โดย PHA ต่างชนิดกันมีความสามารถในการถูกย่อยสลายได้แตกต่างกัน ซึ่ง P(3HB-co-23%4HB) มีอัตราการย่อยสลายสูงที่สุด โดยสูงกว่า P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) P(3HB) และ P(3HB-co-71%3HV) ตามลำดับ PHA ทุกชนิดมีอัตราการย่อยสลายสูงขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยอัตราการย่อยสลายของ PHA ที่อุณหภูมิ 55 °ซ เกิดได้ดีกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ อัตราการผุพัง (คิดจากน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ PHA ทั้ง 4 ชนิดแสดงดังตารางที่ 11 และรูปที่ 9

ตารางที่ 11 อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม PHA 4 ชนิด ภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพด้วย ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 280 วัน

| ชนิดของ PHA | ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันที่อุณหภูมิต่างกัน | | |
|----------------------------|--|-------------|-------------|
| | 30 °ซ | 40 °ซ | 55 °ซ |
| P(3HB) | 0.075 | 0.10 | 0.14 |
| P(3HB-co-71%3HV) | 0.04 | 0.065 | 0.08 |
| P(3HB-co-23%4HB) | 0.13 | 0.20 | 0.27 |
| P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) | 0.09 | 0.13 | 0.17 |



รูปที่ 9 ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน (อัตราการผุพัง) ของ PHA ชนิดต่างๆ ใน 0.01 โมลาร์สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอດเชื้อ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

30 องศาเซลเซียส
 40 องศาเซลเซียส
 55 องศาเซลเซียส

น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์อย่างมาก โดยพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความแข็งแรงและทนความร้อนสูงกว่าพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า พอลิเมอร์ชนิดเดียวกันอาจประกอบด้วยโมเลกุลที่มีความยาวหรือน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน เรียกว่า มีน้ำหนักโมเลกุลเป็นแบบพอลิกระจาย ในระหว่างกระบวนการผลิตโมเลกุลของพอลิเมอร์จะขยายใหญ่ขึ้นมีขนาดต่างๆกัน ทำให้แต่ละโมเลกุลมีน้ำหนักโมเลกุลไม่เท่ากัน ดังนั้นน้ำหนักโมเลกุลที่หาได้จึงเป็นค่าเฉลี่ย และค่าที่ได้อาจแตกต่างกันขึ้นกับวิธีที่ใช้หาน้ำหนักโมเลกุล โดยทั่วไปสามารถหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลได้ 2 วิธีคือ เฉลี่ยโดยอาศัย “จำนวนโมเลกุล” ของพอลิเมอร์เป็นหลัก และอาศัย “น้ำหนัก” ของพอลิเมอร์เป็นหลัก ซึ่งค่าที่ได้อาจเป็นน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน (M_n) และน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (M_w) และสามารถบอกถึงการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยได้จากอัตราส่วนระหว่าง M_w/M_n ซึ่งเรียกว่า ดัชนีของการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (PDI) ซึ่ง M_n จะน้อยกว่า M_w เสมอถ้ามีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล เพราะโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีเป็นจำนวนมาก แต่โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีเป็นจำนวนน้อย และ M_n จะเท่ากับ M_w เมื่อทุกโมเลกุลมีขนาดเท่ากันหรือเป็นโมโนดิสเพอร์สซึ่งจะได้ค่า PDI เท่ากับ 1

ตารางที่ 12 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ PHA ที่ผลิตได้ทั้ง 4 ชนิด ก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิ พบว่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ PHA ทั้ง 4 ชนิดมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของพอลิเมอร์และอุณหภูมิที่ทำการบ่ม โดย P(3HB) ที่ผลิตได้มีค่า M_w และ M_n เท่ากับ 515,000 และ 431,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.19 เมื่อทำการบ่มในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อเป็นระยะเวลา 140 และ 210 วัน พบว่ามีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ทั้ง 3 อุณหภูมิโดยมีอัตราการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 55 °C มากกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °C ตามลำดับ และได้ค่า PDI ที่แตกต่างกัน โดยที่อุณหภูมิ 30 °C ค่า PDI มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อบ่มเป็นเวลานานขึ้น ในขณะที่ค่า PDI เกือบคงที่เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 210 วัน และค่า PDI เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มที่อุณหภูมิ 55 °C นานขึ้น การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-71%3HV) จากน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเริ่มต้นที่ค่า M_w และ M_n เท่ากับ 389,000 และ 159,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 2.44 เมื่อบ่มในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 140 และ 210 วัน น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์มีการลดลงเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °C ในอัตราที่เร็วกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °C ตามลำดับ ในขณะที่ค่า PDI ของพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปในทำนองเดียวกันที่ทั้ง 3 อุณหภูมิที่ทำการทดลอง ส่วน

การย่อยสลายของ P(3HB-co-23%4HB) ที่มีค่า Mw และ Mn เริ่มต้นเท่ากับ 410,000 และ 318,000 และมีค่า PDI เริ่มต้นเท่ากับ 1.29 ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ พบว่าเมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 และ 210 วัน ที่อุณหภูมิ 55 °C และ 30 °C น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์ลดลงตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น และการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น และค่า PDI มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปในทำนองเดียวกันที่ทั้ง 3 อุณหภูมิ การย่อยสลายของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ที่มีค่า Mw และ Mn เริ่มต้นเท่ากับ 269,000 และ 171,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.57 ที่อุณหภูมิ 55 °C และ 30 °C พบว่ามีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น และการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น และค่า PDI ของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มที่นานขึ้นเช่นกัน โดยมีอัตราการลดลงที่เร็วขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า มีการย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA ที่ผลิตจาก *Alcaligenes* sp. A-04 ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิ 30 °C และ 55 °C โดยการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้นเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผลจากการย่อยทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพอลิเมอร์ลดลงมากขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการทดลอง และค่า PDI มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันตามชนิดของพอลิเมอร์และอุณหภูมิที่ทำการบ่ม ซึ่งโดยหลักการ เมื่อเกิดการย่อยสลายของพอลิเมอร์ ค่า Mn ควรมีค่าลดลงเนื่องจากการตัดสายโมเลกุล มีผลให้ค่า PDI เพิ่มขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ของพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิดที่ทดสอบที่อุณหภูมิต่างกันให้ค่า Mn ที่ลดลงและค่า PDI ที่เพิ่มขึ้นเป็นไปตามทฤษฎี มีผลการทดลองส่วนน้อยที่ค่า PDI ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ PHA ทั้ง 4 ชนิดที่ผลิตโดย *Alcaligenes* sp. A-04 ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน

| ชนิดของPHA | ระยะเวลาในการบ่ม (วัน) | การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|--|--------------------|------|--|--------------------|--------------------|------|--|--------------------|--------------------|------|--|
| | | 30 °ซ | | | | 40 °ซ | | | | 55 °ซ | | | |
| | | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | |
| P(3HB) | 0 | 515 | 431 | 1.19 | | 515 | 431 | 1.19 | | 515 | 431 | 1.19 | |
| | 140 | 427 | 380 | 1.12 | | 382 | 345 | 1.10 | | 369 | 288 | 1.28 | |
| | 210 | 374 | 344 | 1.09 | | 346 | 298 | 1.16 | | 328 | 243 | 1.34 | |
| P(3HB-co-71%3HV) | 0 | 389 | 159 | 2.44 | | 389 | 159 | 2.44 | | 389 | 159 | 2.44 | |
| | 140 | 313 | 125 | 2.50 | | 261 | 102 | 2.56 | | 247 | 101 | 2.44 | |
| | 210 | 285 | 110 | 2.59 | | 243 | 88 | 2.75 | | 229 | 92 | 2.48 | |
| P(3HB-co-23%4HB) | 0 | 410 | 318 | 1.29 | | 410 | 318 | 1.29 | | 410 | 318 | 1.29 | |
| | 140 | 283 | 216 | 1.31 | | 290 | 202 | 1.43 | | 303 | 196 | 1.55 | |
| | 210 | 244 | 156 | 1.56 | | 201 | 124 | 1.62 | | 196 | 107 | 1.83 | |
| P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) | 0 | 269 | 171 | 1.57 | | 269 | 171 | 1.57 | | 269 | 171 | 1.57 | |
| | 140 | 249 | 154 | 1.62 | | 237 | 142 | 1.67 | | | 132 | 1.65 | |
| | 210 | 225 | 133 | 1.69 | | 206 | 114 | 1.81 | | 189 | 92 | 2.05 | |

ลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงของ PHA ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพอีกประเภทคือ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลว (Δh_f) คือค่าความร้อนสูงสุดที่ทำให้พอลิเมอร์เปลี่ยนสถานะจากผลึกของแข็งเป็นของเหลว โดยเมื่อพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจะมีผลต่อค่า T_m และค่า Δh_f จากการได้รับความร้อนสูงจนมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยผลึกของสารที่เกิดการหลอมเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาตร เอนทัลปี และสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์อื่นๆ ณ อุณหภูมิคงที่ คือ อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (crystalline melting temperature) สำหรับสารพอลิเมอร์จะไม่มี การเดือดเมื่อได้รับความร้อน แต่ผลึกของพอลิเมอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยเกิดการหลอมละลาย และที่จุดหลอมเหลวผลึกคืออุณหภูมิที่ผลึกสุดท้ายเกิดการหลอมเหลวจนหมด และมีค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลวสูงสุดที่อุณหภูมิเดียวกัน

การตรวจสอบค่า T_m และ Δh_f เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลึกในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งเป็นผลจากการย่อยสลายทางชีวภาพ ตารางที่ 13 แสดงค่า T_m และค่า Δh_f ที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อ เมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิ โดยค่า T_m และค่า Δh_f ของพอลิเมอร์ P(3HB) เริ่มต้นเท่ากับ 171.1 °ซ และ 92.01 จูลต่อกรัมตามลำดับ พบว่าค่า T_m ลดลงเมื่อบ่มเป็นเวลานานขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีอัตราการลดลงที่อุณหภูมิ 55 °ซ เร็วกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ ในขณะที่ค่า Δh_f ที่อุณหภูมิ 30 °ซ มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่บ่ม แต่มีค่าลดลงในช่วง 77 วันแรกแล้วเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ และมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 77 วันแรกแล้วลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากนั้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ชนิด P(3HB-co-71%3HV) ที่มีค่า T_m และค่า Δh_f เริ่มต้นเท่ากับ 100.4 °ซ และ 27.75 จูลต่อกรัมตามลำดับนั้น พบว่าค่า T_m และค่า Δh_f มีค่าโดยรวมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่บ่ม โดยที่อุณหภูมิ 40 และ 55 °ซ ค่า T_m และ Δh_f เพิ่มขึ้น (ใน 77 วันแรก)และมีค่าคงที่ (77 ถึง 189 วัน) ส่วนโคพอลิเมอร์ P(3HB-co-23%4HB) ซึ่งมีค่า T_m และค่า Δh_f เริ่มต้นเท่ากับ 164.5 °ซ และ 47.10 จูลต่อกรัมตามลำดับ เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °ซ เป็นระยะเวลา 189 วัน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า T_m และค่า Δh_f เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ พบว่ามีการลดลงของค่า T_m เมื่อบ่มในช่วงแรก (77 วัน) แต่หลังจากนั้นค่า T_m เพิ่มขึ้น และค่า Δh_f มีค่าเพิ่มขึ้นตลอดการทดลองเป็นเวลา 189 วัน ในส่วนเทอร์พอลิเมอร์ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ที่มีค่า T_m และค่า Δh_f เริ่มต้นเท่ากับ 88.4 °ซ และ 42.18 จูลต่อกรัมตามลำดับ โดยเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ ค่า T_m และค่า Δh_f เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มที่นานขึ้น ในขณะที่เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ ค่า T_m และค่า Δh_f ลดลง

ในช่วงแรกของการทดลอง (77 วัน) หลังจากนั้นค่าเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 55 °ซ ค่า T_m และค่า Δh_f เพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการทดลอง (77 วัน) และมีค่าลดลงหลังจาก 77 วันจนถึง 189 วัน

ซึ่งโดยทั่วไป ในเนื้อพอลิเมอร์จะประกอบด้วย 2 บริเวณคือบริเวณที่เป็นผลึก (crystalline region) ประกอบด้วยผลึกเล็กๆ ซึ่งมีความยาวที่สั้นมากเมื่อเทียบกับความยาวของทั้งโมเลกุล และผลึกเล็กๆ นี้เกิดจากส่วนของหลายๆ โมเลกุลมาจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และระหว่างผลึกเล็กๆ นี้ จะมีบริเวณที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) แทรกอยู่ โดยที่โมเลกุลจะอยู่กันอย่างระเกะระกะไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นภายในสายโซ่โมเลกุลที่มีความยาวจะมีทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานในปริมาณที่แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์ ซึ่งการที่พอลิเมอร์มีความเป็นผลึกสูงจะทำให้มีค่า T_m และ Δh_f สูงด้วย และการย่อยสลายของพอลิเมอร์จะเกิดขึ้นในส่วนที่เป็นอสัณฐานก่อน ทำให้พอลิเมอร์ภายหลังการย่อยสลายในช่วงแรกมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีระดับความเป็นผลึกสูงสุด ทำให้ค่า T_m และค่า Δh_f เพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง หลังจากนั้นเมื่อส่วนที่เป็นผลึกถูกย่อยสลายอย่างต่อเนื่องต่อไป ทำให้ความเป็นผลึกลดลง ค่า T_m และค่า Δh_f ก็จะลดลงด้วยเช่นกัน จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าส่วนใหญ่ของพอลิเมอร์มีค่า T_m และค่า Δh_f เป็นไปตามทฤษฎีคือ มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งแล้วลดลง โดยการเปลี่ยนแปลงมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของ PHA และอุณหภูมิที่บ่ม

ตารางที่ 13 สมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงของ PHA ชนิดต่างๆ ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพ ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน

| ชนิดของPHA | ระยะเวลา ในการบ่ม (วัน) | สมบัติทางกายภาพของ PHA เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|---|-----------------------|------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| | | 30 °ซ | | 40 °ซ | | 55 °ซ | |
| | | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) |
| P(3HB) | 0 | 171.1 | 92.01 | 171.1 | 92.01 | 171.1 | 92.01 |
| | 77 | 166.9 | 88.15 | 168.5 | 89.42 | 169.7 | 97.77 |
| | 133 | 165.9 | 85.16 | 164.6 | 99.70 | 157.5 | 59.42 |
| | 189 | 165.6 | 80.55 | 164.1 | 107.35 | 117.1 | 49.63 |
| P(3HB-co-71%3HV) | 0 | 100.4 | 27.75 | 100.4 | 27.75 | 100.4 | 27.75 |
| | 77 | 101.8 | 32.12 | 116.8 | 46.11 | 118.6 | 54.08 |
| | 133 | 101.4 | 33.01 | 114.1 | 42.49 | 117.6 | 57.74 |
| | 189 | 103.6 | 36.34 | 113.9 | 49.80 | 118.7 | 54.01 |
| P(3HB-co-23%4HB) | 0 | 164.5 | 47.10 | 164.5 | 47.10 | 164.5 | 47.10 |
| | 77 | 163.7 | 44.60 | 162.3 | 43.47 | 149.5 | 52.62 |
| | 133 | 164.3 | 44.85 | 162.8 | 43.48 | 149.9 | 57.85 |
| | 189 | 164.9 | 48.88 | 163.9 | 44.76 | 152.9 | 60.24 |
| P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) | 0 | 88.4 | 42.18 | 88.4 | 42.18 | 88.4 | 42.18 |
| | 77 | 89.9 | 48.81 | 85.8 | 31.88 | 100.3 | 67.33 |
| | 133 | 87.8 | 52.45 | 88.1 | 37.34 | 99.1 | 57.91 |
| | 189 | 90.2 | 60.03 | 94.5 | 41.25 | 77.6 | 46.12 |

3.4 การย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน

การย่อยสลายโดยปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ หมายถึงจุลินทรีย์บางชนิดมีเอ็นไซม์ที่ปล่อยออกมาออกเซลล์และสามารถย่อยสลาย PHA ได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้แหล่งของจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน เพื่อศึกษาความแตกต่างในการย่อยสลายพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบต่างกัน

การย่อยสลายทางชีวภาพของ PHA 4 ชนิดที่ผลิตได้จาก *Alcaligenes* sp. A-04 ทำโดยการบ่มชิ้นพอลิเมอร์ตัวอย่างขนาด 1 ซม. × 2 ซม. × 0.05 มม. ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด ได้แก่ 1) ดินจากการย่อยสลายขยะ (decomposed soil) ซึ่งเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณรอบกองขยะที่อ่อนนุช ซึ่งเป็นดินที่เกิดจากการย่อยสลายขยะพลาสติกเป็นเวลานานจนต้นไม้สามารถขึ้นได้ 2) ดินจากการเผาขยะ (refuse soil) โดยเป็นดินที่เกิดจากการเผาขยะพลาสติกที่อ่อนนุช 3) ปุ๋ยคอก (manure) 4) ดินปลูกหรือดินสิดา (potting soil) ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและแหล่งจุลินทรีย์ที่สมบูรณ์ และ 5) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย (activated sludge) จากโรงงานบำบัดน้ำเสียที่บางปู โดยศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพที่อุณหภูมิต่างกัน 3 อุณหภูมิคือ 30 40 และ 55 °ซ ภายใต้ภาวะที่มีอากาศ และควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วง 30-80% ความชื้นสัมพัทธ์ เก็บชิ้นตัวอย่างพอลิเมอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 245 วัน

3.4.1. การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) ในดิน

เมื่อทำการบ่ม P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน พบว่า P(3HB) ถูกย่อยสลายได้ในดินทั้ง 5 ชนิดในอัตราที่แตกต่างกันโดยทราบจากน้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น และคิดเป็นอัตราการสูญพังของแผ่นฟิล์มคือน้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่สูญหายไปต่อวัน ซึ่งผลการย่อยสลายแสดงดังตารางที่ 14 15 16 17 และ 18 และรูปที่ 10 พบว่าการย่อยสลายของ P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการย่อยสลายขยะเมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกันมีอัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดย P(3HB) ถูกย่อยสลายได้ดีที่อุณหภูมิ 55 °ซ ซึ่งดีกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ และผลจากการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 245 วันทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม P(3HB) หายไปเท่ากับ 3.9 5.0 และ 6.1 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 25.49 34.965 และ 47.69 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ตามลำดับ การย่อยสลายของ P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการเผาขยะก็มีอัตราการย่อยสลายที่ต่างกันที่อุณหภูมิต่างกัน โดยการย่อยสลายเกิดได้ดีที่สุดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ และรองลงมาที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ ผลจากการย่อยสลายเป็นเวลา 245 วันที่ทั้ง 3 อุณหภูมิ ทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม P(3HB) ลดลงเท่ากับ 7.2 5.5 และ 4.2 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 54.14 39.01 และ 27.81 ตามลำดับ เมื่อใช้แหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยคอกและดินปลูก การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB)

เกิดขึ้นได้ดีใกล้เคียงกัน โดยการย่อยสลายเกิดได้ดีที่สุดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ รองลงมาคือ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ ผลจากการย่อยสลายของ P(3HB) ในปุ๋ยคอกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เป็นระยะเวลา 245 วัน น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหายไปเท่ากับ 4.5 5.9 และ 6.6 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 28.85 41.84 และ 47.83 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ตามลำดับ ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินปลูกทำให้น้ำหนักของ P(3HB) ลดลงเท่ากับ 3.0 4.2 และ 5.3 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเป็น 19.87 28.97 และ 38.97 ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ตามลำดับ เมื่อใช้แหล่งจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียในการย่อยสลาย P(3HB) พบว่าสามารถย่อยแผ่นฟิล์มของ P(3HB) ได้ดีกว่าแหล่งจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยผลการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์ม P(3HB) หายไป 7.5 8.4 และ 9.7 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 59.055 67.74 และ 74.05 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 245 วัน

ตารางที่ 14 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.3 | 98.09 | 1.91 | 0.05 |
| 70 | 1.0 | 93.63 | 6.37 | 0.09 |
| 84 | 1.2 | 92.36 | 7.64 | 0.09 |
| 133 | 1.6 | 89.68 | 10.32 | 0.08 |
| 189 | 3.1 | 80.00 | 20.00 | 0.11 |
| 210 | 3.5 | 77.12 | 22.88 | 0.11 |
| 245 | 3.9 | 74.51 | 25.49 | 0.10 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.7 | 95.24 | 4.76 | 0.11 |
| 70 | 1.6 | 88.89 | 11.11 | 0.16 |
| 84 | 2.0 | 86.11 | 13.89 | 0.165 |
| 133 | 2.9 | 79.86 | 20.14 | 0.15 |
| 189 | 3.9 | 72.92 | 27.08 | 0.14 |
| 210 | 4.1 | 71.33 | 28.67 | 0.14 |
| 245 | 5.0 | 65.035 | 34.965 | 0.14 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|--|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.5 | 88.81 | 11.19 | 0.27 |
| 70 | - | - | - | - |
| 84 | 2.8 | 79.10 | 20.90 | 0.25 |
| 133 | 3.5 | 73.88 | 26.12 | 0.20 |
| 189 | 4.4 | 66.15 | 33.85 | 0.18 |
| 210 | 5.2 | 60.00 | 40.00 | 0.19 |
| 245 | 6.1 | 52.31 | 47.69 | 0.19 |

ตารางที่ 15 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการ
เผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.3 | 98.04 | 1.96 | 0.05 |
| 70 | 0.6 | 96.05 | 3.95 | 0.06 |
| 84 | 0.8 | 94.74 | 5.26 | 0.06 |
| 133 | 1.3 | 91.45 | 8.55 | 0.06 |
| 189 | 2.5 | 83.55 | 16.45 | 0.09 |
| 210 | 3.0 | 80.13 | 19.87 | 0.09 |
| 245 | 4.2 | 72.19 | 27.81 | 0.11 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.7 | 95.07 | 4.93 | 0.12 |
| 70 | 1.3 | 90.85 | 9.15 | 0.13 |
| 84 | 1.7 | 88.03 | 11.97 | 0.14 |
| 133 | 3.1 | 78.17 | 21.83 | 0.16 |
| 189 | 4.4 | 69.01 | 30.99 | 0.16 |
| 210 | 4.8 | 65.96 | 34.04 | 0.16 |
| 245 | 5.5 | 60.99 | 39.01 | 0.16 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.2 | 91.11 | 8.89 | 0.21 |
| 70 | 1.9 | 85.93 | 14.07 | 0.20 |
| 84 | 2.3 | 82.96 | 17.04 | 0.20 |
| 133 | 4.4 | 66.92 | 33.08 | 0.25 |
| 189 | 6.1 | 54.14 | 45.86 | 0.24 |
| 210 | 6.5 | 51.13 | 48.87 | 0.23 |
| 245 | 7.2 | 45.86 | 54.14 | 0.22 |

ตารางที่ 16 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นปุ๋ยคอก
ที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อเทียบ กับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.3 | 98.10 | 1.90 | 0.04 |
| 70 | 0.6 | 96.20 | 3.80 | 0.05 |
| 84 | 0.8 | 94.94 | 5.06 | 0.06 |
| 133 | 1.7 | 89.10 | 10.90 | 0.08 |
| 189 | 3.1 | 80.13 | 19.87 | 0.105 |
| 210 | 3.6 | 76.92 | 23.08 | 0.11 |
| 245 | 4.5 | 71.15 | 28.85 | 0.12 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.6 | 95.97 | 4.03 | 0.10 |
| 70 | 0.9 | 93.92 | 6.08 | 0.09 |
| 84 | 1.5 | 89.865 | 10.135 | 0.12 |
| 133 | 2.5 | 83.11 | 16.89 | 0.13 |
| 189 | 4.9 | 66.89 | 33.11 | 0.175 |
| 210 | 5.6 | 62.16 | 37.84 | 0.18 |
| 245 | 5.9 | 58.16 | 41.84 | 0.17 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.7 | 95.00 | 5.00 | 0.12 |
| 70 | 1.4 | 90.00 | 10.00 | 0.14 |
| 84 | 1.8 | 86.96 | 13.04 | 0.155 |
| 133 | 3.3 | 76.09 | 23.91 | 0.18 |
| 189 | 5.1 | 63.04 | 36.96 | 0.20 |
| 210 | 5.8 | 57.97 | 42.03 | 0.20 |
| 245 | 6.6 | 52.17 | 47.83 | 0.195 |

ตารางที่ 17 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินปลูก
ที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.3 | 98.05 | 1.95 | 0.03 |
| 84 | 0.5 | 96.75 | 3.25 | 0.04 |
| 133 | 1.1 | 92.86 | 7.14 | 0.05 |
| 189 | 2.3 | 85.065 | 14.935 | 0.08 |
| 210 | 2.4 | 84.11 | 15.89 | 0.08 |
| 245 | 3.0 | 80.13 | 19.87 | 0.08 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.3 | 97.95 | 2.05 | 0.05 |
| 70 | 0.7 | 95.21 | 4.79 | 0.07 |
| 84 | 1.3 | 91.10 | 8.90 | 0.11 |
| 133 | 1.9 | 86.90 | 13.10 | 0.10 |
| 189 | 3.5 | 75.86 | 24.14 | 0.13 |
| 210 | 3.6 | 75.17 | 24.83 | 0.12 |
| 245 | 4.2 | 71.03 | 28.97 | 0.12 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.7 | 94.96 | 5.04 | 0.12 |
| 70 | 1.4 | 89.93 | 10.07 | 0.14 |
| 84 | 1.8 | 86.86 | 13.14 | 0.16 |
| 133 | 3.4 | 75.00 | 25.00 | 0.19 |
| 189 | 4.5 | 66.91 | 33.09 | 0.175 |
| 210 | 4.9 | 63.97 | 36.03 | 0.17 |
| 245 | 5.3 | 61.03 | 38.97 | 0.16 |

ตารางที่ 18 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจาก
การบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

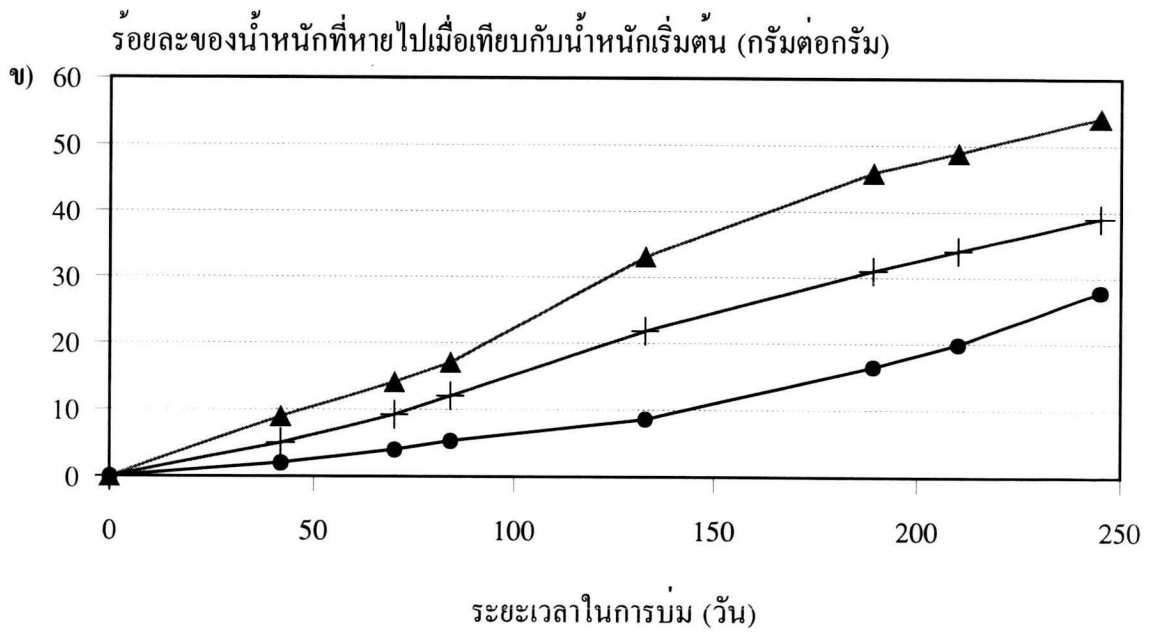
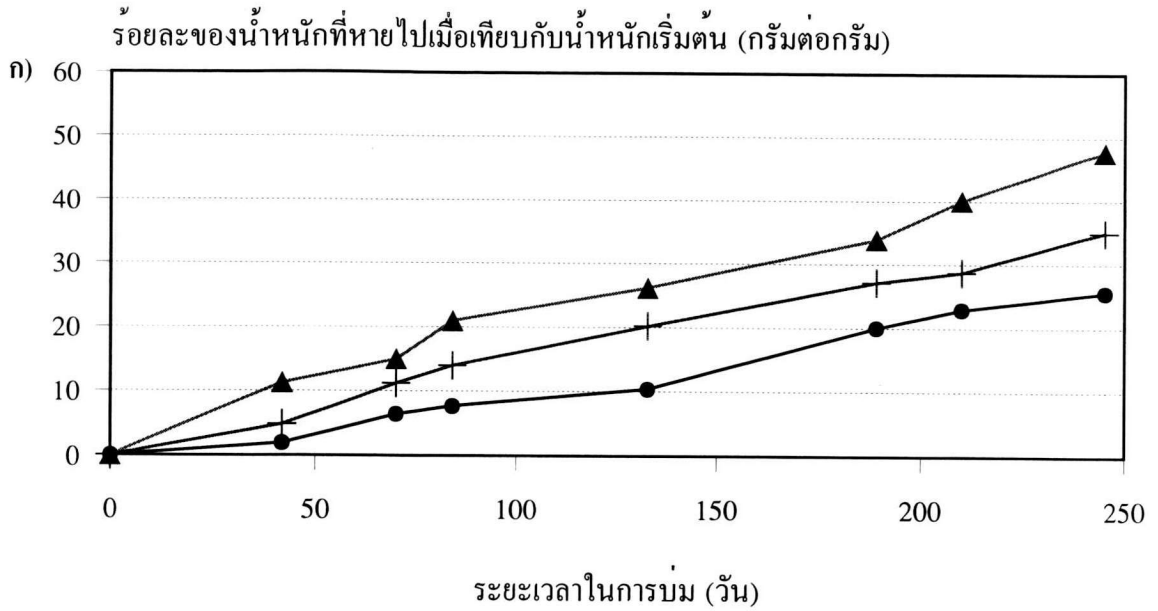
| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.5 | 96.12 | 3.88 | 0.11 |
| 70 | 1.4 | 89.06 | 10.94 | 0.16 |
| 84 | 1.8 | 85.94 | 14.06 | 0.17 |
| 133 | 4.1 | 67.97 | 32.03 | 0.24 |
| 189 | 6.0 | 53.125 | 46.875 | 0.25 |
| 210 | 6.6 | 48.03 | 51.97 | 0.25 |
| 245 | 7.5 | 40.945 | 59.055 | 0.24 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.4 | 88.89 | 11.11 | 0.32 |
| 70 | 2.1 | 83.33 | 16.67 | 0.24 |
| 84 | 3.0 | 76.00 | 24.00 | 0.29 |
| 133 | 4.6 | 63.20 | 36.80 | 0.28 |
| 189 | 7.1 | 43.20 | 56.80 | 0.30 |
| 210 | 7.8 | 37.10 | 62.90 | 0.30 |
| 245 | 8.4 | 32.26 | 67.74 | 0.28 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

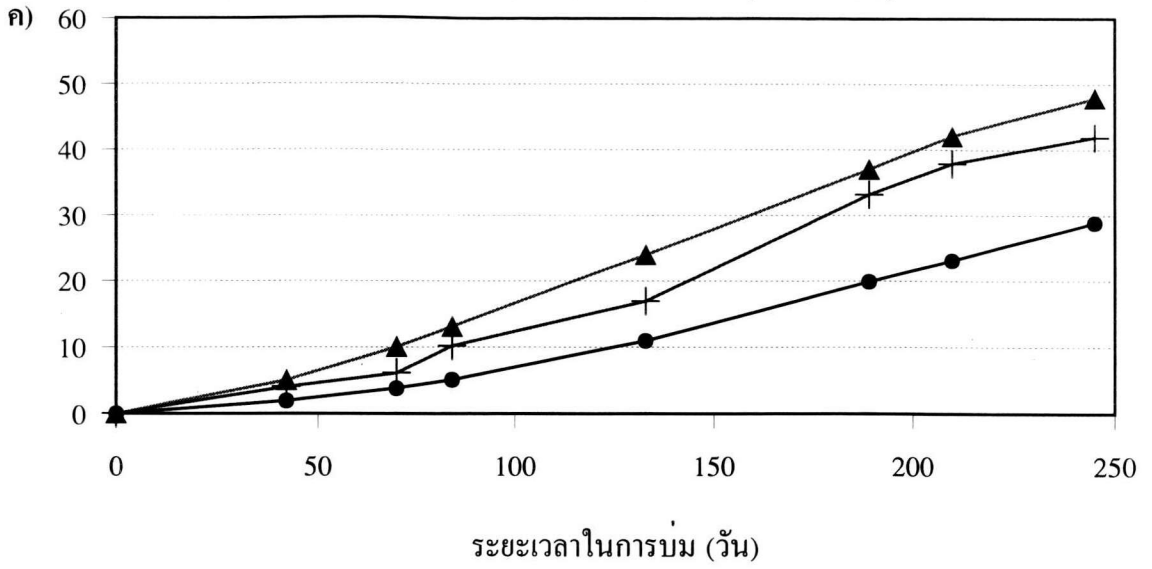
| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 2.2 | 83.33 | 16.67 | 0.48 |
| 70 | 3.5 | 73.48 | 26.52 | 0.38 |
| 84 | 4.4 | 66.67 | 33.33 | 0.40 |
| 133 | 6.2 | 53.03 | 46.97 | 0.35 |
| 189 | 8.0 | 39.39 | 60.61 | 0.32 |
| 210 | 8.9 | 32.06 | 67.94 | 0.32 |
| 245 | 9.7 | 25.95 | 74.05 | 0.30 |



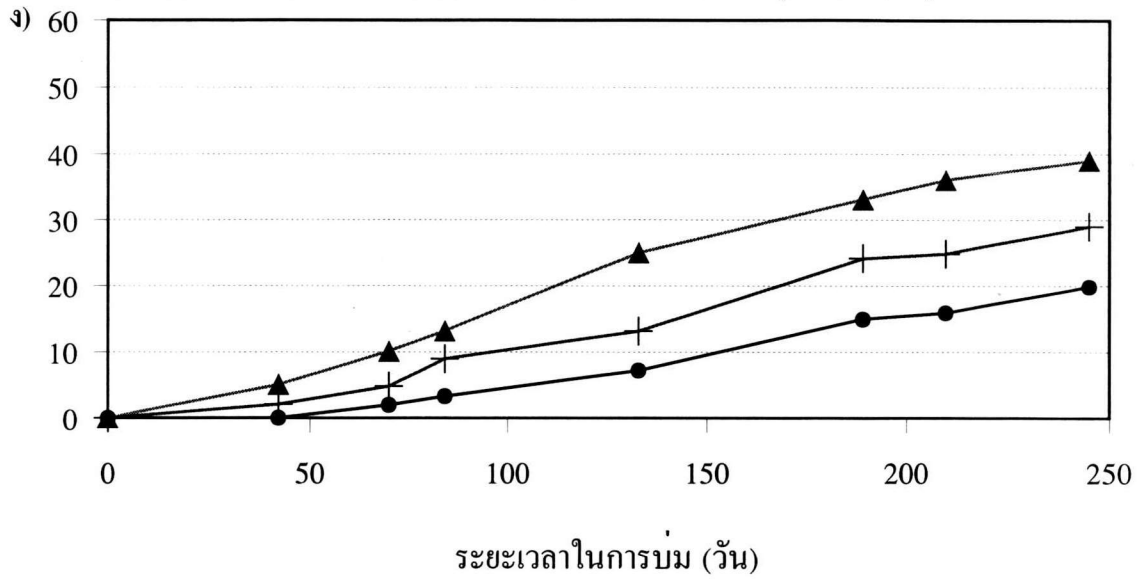
●- 30 องศาเซลเซียส + 40 องศาเซลเซียส ▲- 55 องศาเซลเซียส

รูปที่ 10 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างกัน โดย ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ ข) ดินจากการเผาขยะ ค) ปุ๋ยคอก ง) ดินปลูก และ จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

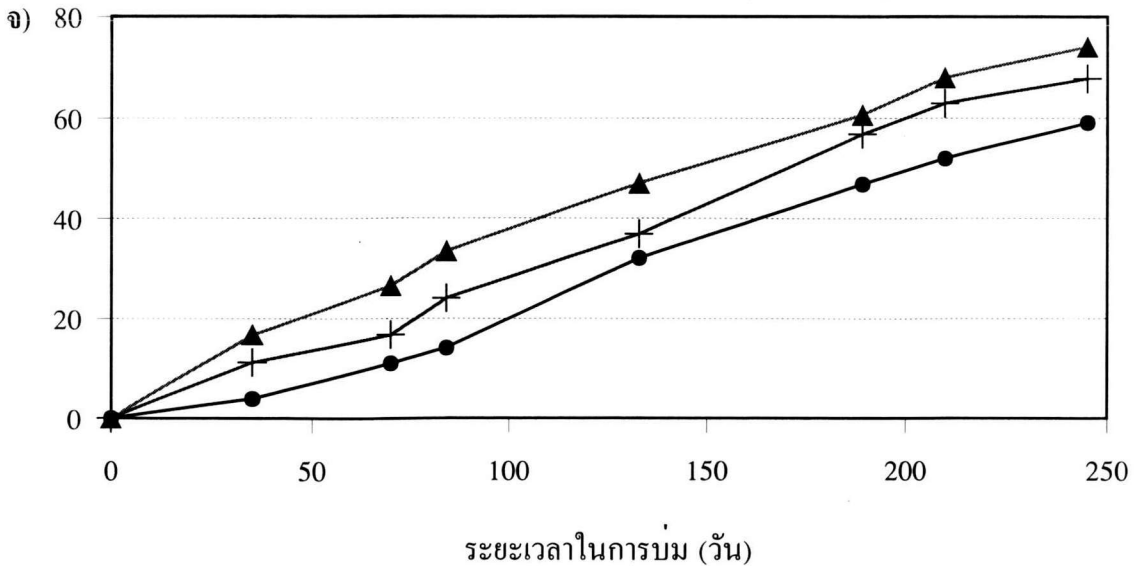
ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อกรัม)



ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อกรัม)



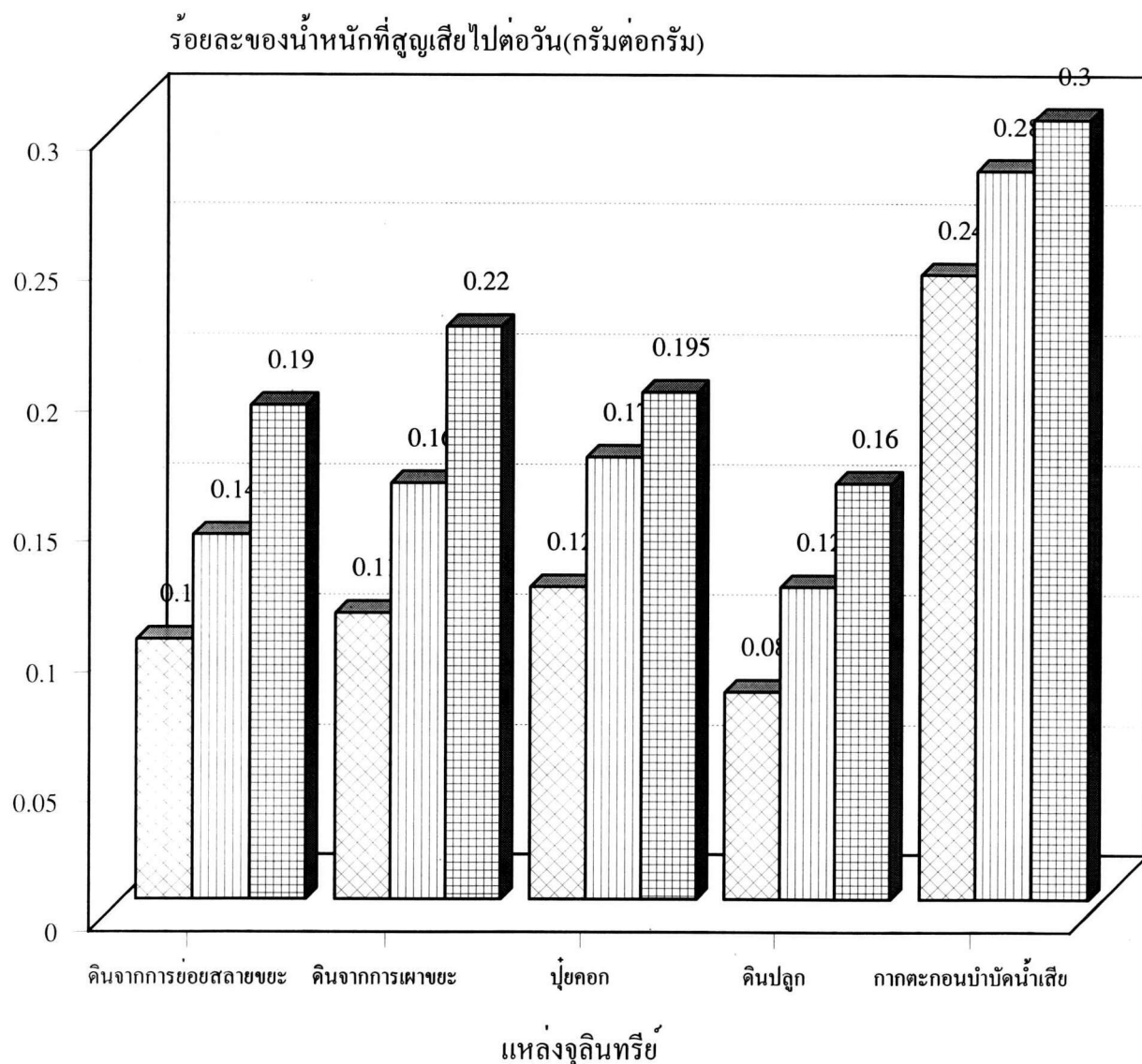
ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น (กรัมต่อกรัม)



จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดพบว่า อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์มเมื่อทำการย่อยสลายในภาคตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเกิดได้ดีที่สุด รองลงมาคือดินจากการเผาขยะ ปุ๋ยคอกซึ่งใกล้เคียงกับดินจากการย่อยสลายขยะ และดินปลูกตามลำดับ และการย่อยสลายเกิดได้ดีเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ ซึ่งดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ โดยอัตราการผุพัง (คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญหายไปต่อวัน) ของแผ่นฟิล์ม P(3HB) เปรียบเทียบในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดแสดงผลดังตารางที่ 19 และรูปที่ 11

ตารางที่ 19 อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม P(3HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในดินต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 245 วัน

| แหล่งของจุลินทรีย์ | ร้อยละของน้ำหนักที่สูญหายไปต่อวันที่อุณหภูมิต่างกัน | | |
|----------------------------|---|-------------|-------------|
| | 30 °ซ | 40 °ซ | 55 °ซ |
| ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0.10 | 0.14 | 0.19 |
| ดินจากการเผาขยะ | 0.11 | 0.16 | 0.22 |
| ปุ๋ยคอก | 0.12 | 0.17 | 0.195 |
| ดินปลูก | 0.08 | 0.12 | 0.16 |
| ภาคตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย | 0.24 | 0.28 | 0.30 |



รูปที่ 11 อัตราการสูญพัง (รอยละของน้ำหนัที่สูญเสีไปต่อวัน) ของ P(3HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน

□ 30 องศาเซลเซียส □ 40 องศาเซลเซียส □ 55 องศาเซลเซียส

น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ลดลงของ P(3HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่ อุณหภูมิต่างกัน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 20 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น น้ำหนัก โมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB) มีค่าลดลง ซึ่งให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทำนองเดียวกันในแหล่ง จุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดโดยมีอัตราการลดลงที่แตกต่างกันตามชนิดของแหล่งจุลินทรีย์ และการย่อย สลายที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB) ลดลงมากขึ้นเช่นกัน ผลการลดลง ของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยทราบจากค่า M_w และ M_n ที่เปลี่ยนแปลงไป ผลจากการย่อยสลาย ทางชีวภาพของ P(3HB) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเริ่มต้นของ M_w เท่ากับ 515,000 M_n เท่า กับ 431,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.19 ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงสุดโดยได้ค่า M_w เท่ากับ 287,000 M_n เท่ากับ 169,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.70 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ รองลงมาคือแหล่งจุลินทรีย์ ชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิ 40 °ซ โดยมีค่า M_w เท่ากับ 283,000 M_n เท่ากับ 189,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.49 ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการเผาขยะและดินจากการย่อยสลายขยะที่ อุณหภูมิ 55 °ซ โดยมีค่า M_w เท่ากับ 286,000 และ 318,000 และ M_n เท่ากับ 186,000 และ 199,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.54 และ 1.59 ตามลำดับ

ตารางที่ 20 นำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | ระยะเวลาในการบ่ม (วัน) | น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ PHA เมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|------------------------|---|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|
| | | | 30 °ซ | | | 40 °ซ | | | 55 °ซ | | |
| | | | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI |
| P(3HB) | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 |
| | | 70 | - | - | - | - | - | - | 360 | 257 | 1.40 |
| | | 140 | 463 | 274 | 1.70 | 424 | 238 | 1.78 | 318 | 199 | 1.59 |
| | ดินจากการเผาขยะ | 0 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 |
| | | 70 | - | - | - | 357 | 275 | 1.30 | 350 | 252 | 1.39 |
| | | 140 | 355 | 231 | 1.54 | 367 | 224 | 1.64 | 286 | 186 | 1.54 |
| | ปุ๋ยคอก | 0 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 |
| | | 70 | 468 | 360 | 1.30 | - | - | - | - | - | - |
| | | 140 | 340 | 283 | 1.20 | - | - | - | 347 | 243 | 1.43 |
| ดินปลูก | 0 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 | |
| | 70 | - | - | - | - | - | - | 372 | 304 | 1.22 | |
| | 140 | 410 | 303 | 1.35 | 406 | 254 | 1.60 | 318 | 219 | 1.45 | |
| กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย | 0 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 | 515 | 431 | 1.19 | |
| | 70 | 346 | 290 | 1.19 | 332 | 277 | 1.20 | 336 | 249 | 1.35 | |
| | 140 | 319 | 233 | 1.37 | 283 | 189 | 1.49 | 287 | 169 | 1.70 | |

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าเมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 70 วัน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า T_m และ Δh_f แตกต่างกัน ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงแสดงดังตารางที่ 21 โดยการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB) เมื่อบ่มในภาคตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียและปุ๋ยคอก มีผลทำให้ค่า T_m และ Δh_f ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้น แสดงว่าการย่อยสลายของ P(3HB) เกิดขึ้นทั้งในส่วนที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก ทำให้มีการลดลงของค่า T_m และ Δh_f ในขณะที่การย่อยสลายในดินจากการย่อยสลายขยะและดินปลูกทำให้ค่า T_m และ Δh_f เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้น นั่นคือ P(3HB) ถูกย่อยสลายในส่วนที่เป็นอสัณฐาน ผลจากการย่อยทำให้ความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น ค่า T_m และ Δh_f จึงเพิ่มขึ้น และการย่อยสลายในดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °ซ ทำให้ค่า T_m และ Δh_f เพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่า T_m และ Δh_f ลดลงเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ แสดงว่าที่อุณหภูมิ 55 °ซ การย่อยสลายของ P(3HB) เกิดขึ้นทั่วทั้งแผ่นฟิล์มทำให้มีการลดลงของค่า T_m และ Δh_f ในขณะที่ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 °ซ การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มเกิดขึ้นเฉพาะในส่วนที่ไม่เป็นผลึก

ตารางที่ 21 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน เป็นเวลา 70 วัน

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ PHA เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | |
|---|----------------------|---|--------------------|-----------|--------------------|--------------|--------------------|
| | | 30 °ซ | | 40 °ซ | | 55 °ซ | |
| | | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) |
| P(3HB) Tm เริ่มต้นเท่ากับ 171.1 °ซ Δh_f เริ่มต้นเท่ากับ 92.01 จ/ก | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 167.8 | 89.66 | 168.7 | 91.23 | 169.2 | 91.86 |
| | ดินจากการเผาขยะ | 169.1 | 91.89 | 171.8 | 92.64 | 165.6 | 88.78 |
| | ปุ๋ยคอก | 169.9 | 92.48 | 164.9 | 86.06 | 161.3 | 83.75 |
| | ดินปลูก | 168.4 | 90.45 | 169.5 | 91.76 | 170.2 | 93.56 |
| | กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย | 170.4 | 93.40 | 163.6 | 85.06 | 155.8 | 77.89 |

3.4.2. การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ในดิน

เมื่อบ่มขึ้นพอลิเมอร์ของ P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า P(3HB-co-71%3HV) ถูกย่อยสลายได้ในอัตราที่แตกต่างกันตามชนิดของดินและอุณหภูมิที่บ่ม ผลการย่อยสลายแสดงดังตารางที่ 22 23 24 25 และ 26 และรูปที่ 12 โดยเมื่อบ่ม P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการย่อยสลายขยะ พบว่ามี การหายไปของน้ำหนักของแผ่นฟิล์มเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ มากกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วัน น้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 55 40 และ 30 °ซ สูญเสียไป 5.5 4.6 และ 3.2 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 36.42 29.68 และ 20.00 ตามลำดับ เมื่อบ่มขึ้นตัวอย่างพอลิเมอร์ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการเผาขยะ อัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 55 °ซ และดีกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ผลการย่อยสลายเมื่อทำการทดลองเป็นระยะเวลา 245 วัน ทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์มลดลง 5.9 4.9 และ 4.0 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 39.86 31.82 และ 24.84 ที่อุณหภูมิ 55 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยคอก ให้อัตราการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 55 และ 40 °ซ ใกล้เคียงกันในช่วงแรกของการทดลอง (133 วัน) แต่หลังจากนั้นอัตราการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เกิดขึ้นได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วัน พบว่าน้ำหนักของแผ่นฟิล์มลดลง 5.2 4.6 และ 3.1 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 37.14 31.94 และ 20.95 ตามลำดับ ส่วนการย่อยสลายของ P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินปลูก พบว่าที่อุณหภูมิ 55 °ซ การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ และน้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่หายไปเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วันที่ทั้ง 3 อุณหภูมิจะเท่ากับ 4.5 3.4 และ 2.5 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 31.47 22.97 และ 16.13 ตามลำดับ และการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียให้ผลการย่อยสลายที่ดีที่สุด โดย P(3HB-co-71%3HV) ถูกย่อยสลายได้ดีที่อุณหภูมิ 40 °ซ ดีกว่าที่อุณหภูมิ 55 °ซ ในช่วงแรกของการทดลอง (133 วัน) แต่หลังจากนั้นการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีขึ้นโดยที่อุณหภูมิ 55 °ซ ดีกว่าที่ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ ผลการย่อยสลายทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหายไป 10.5 8.5 และ 7.1 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 62.13 56.67 และ 42.77 ตามลำดับเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วัน

ตารางที่ 22 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
ดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.3 | 98.18 | 1.82 | 0.05 |
| 70 | 0.8 | 95.10 | 4.90 | 0.07 |
| 84 | 1.1 | 93.25 | 6.75 | 0.08 |
| 133 | 1.9 | 88.34 | 11.66 | 0.09 |
| 189 | 2.6 | 83.85 | 16.15 | 0.09 |
| 210 | 2.8 | 82.50 | 17.50 | 0.08 |
| 245 | 3.2 | 80.00 | 20.00 | 0.08 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.2 | 92.36 | 7.64 | 0.22 |
| 70 | 1.9 | 87.90 | 12.10 | 0.17 |
| 84 | 2.2 | 85.90 | 14.10 | 0.17 |
| 133 | 3.1 | 80.13 | 19.87 | 0.15 |
| 189 | 3.6 | 76.92 | 23.08 | 0.12 |
| 210 | 4.0 | 74.19 | 25.81 | 0.12 |
| 245 | 4.6 | 70.32 | 29.68 | 0.12 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.5 | 96.75 | 3.25 | 0.09 |
| 70 | 1.4 | 90.85 | 9.15 | 0.13 |
| 84 | - | - | - | - |
| 133 | 3.5 | 76.97 | 23.03 | 0.17 |
| 189 | 4.8 | 68.21 | 31.79 | 0.17 |
| 210 | 5.2 | 65.56 | 34.44 | 0.16 |
| 245 | 5.5 | 63.58 | 36.42 | 0.15 |

ตารางที่ 23 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|--------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.6 | 96.34 | 3.66 | 0.10 |
| 70 | 1.0 | 93.87 | 6.13 | 0.09 |
| 84 | 1.6 | 90.18 | 9.82 | 0.12 |
| 133 | 2.6 | 84.05 | 15.95 | 0.12 |
| 189 | 3.2 | 80.25 | 19.75 | 0.10 |
| 210 | 3.4 | 78.88 | 21.12 | 0.10 |
| 245 | 4.0 | 75.16 | 24.84 | 0.10 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|--------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.9 | 94.30 | 5.70 | 0.16 |
| 70 | 1.7 | 89.17 | 10.83 | 0.15 |
| 84 | 2.0 | 87.18 | 12.82 | 0.15 |
| 133 | 3.3 | 78.71 | 21.29 | 0.16 |
| 189 | 4.1 | 73.38 | 26.62 | 0.14 |
| 210 | 4.3 | 72.08 | 27.92 | 0.13 |
| 245 | 4.9 | 68.18 | 31.82 | 0.13 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|--------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.7 | 88.82 | 11.18 | 0.32 |
| 70 | - | - | - | - |
| 84 | 2.4 | 84.11 | 15.89 | 0.19 |
| 133 | 4.1 | 72.67 | 27.33 | 0.21 |
| 189 | 4.5 | 70.00 | 30.00 | 0.16 |
| 210 | 5.2 | 65.10 | 34.90 | 0.17 |
| 245 | 5.9 | 60.14 | 39.86 | 0.16 |

ตารางที่ 24 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
ปุ๋ยคอกที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไป ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.1 | 99.33 | 0.67 | 0.02 |
| 70 | 0.3 | 98.00 | 2.00 | 0.03 |
| 84 | 0.5 | 95.97 | 3.35 | 0.04 |
| 133 | 0.9 | 93.92 | 6.08 | 0.05 |
| 189 | 2.5 | 83.11 | 16.89 | 0.09 |
| 210 | 2.6 | 82.43 | 17.57 | 0.08 |
| 245 | 3.1 | 79.05 | 20.95 | 0.09 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไป ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.3 | 97.95 | 2.05 | 0.06 |
| 70 | 0.9 | 93.84 | 6.16 | 0.09 |
| 84 | 1.3 | 91.03 | 8.97 | 0.11 |
| 133 | 2.8 | 80.69 | 19.31 | 0.15 |
| 189 | 3.7 | 74.31 | 25.69 | 0.14 |
| 210 | 4.3 | 70.14 | 29.86 | 0.14 |
| 245 | 4.6 | 68.06 | 31.94 | 0.13 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไป ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.4 | 97.20 | 2.80 | 0.08 |
| 70 | 1.0 | 93.01 | 6.99 | 0.10 |
| 84 | 1.3 | 90.85 | 9.15 | 0.11 |
| 133 | 2.7 | 80.99 | 19.01 | 0.14 |
| 189 | 4.1 | 71.13 | 28.87 | 0.15 |
| 210 | 4.7 | 66.90 | 33.10 | 0.16 |
| 245 | 5.2 | 62.86 | 37.14 | 0.15 |

ตารางที่ 25 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็นดินปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 70 | 0.5 | 96.875 | 3.125 | 0.04 |
| 84 | 0.8 | 94.94 | 5.06 | 0.06 |
| 133 | 1.4 | 91.14 | 8.86 | 0.07 |
| 189 | 1.9 | 87.97 | 12.03 | 0.06 |
| 210 | 2.0 | 87.18 | 12.82 | 0.06 |
| 245 | 2.5 | 83.87 | 16.13 | 0.07 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.3 | 98.03 | 1.97 | 0.06 |
| 70 | 0.6 | 96.03 | 3.97 | 0.06 |
| 84 | 0.6 | 96.03 | 3.97 | 0.05 |
| 133 | 1.8 | 88.08 | 11.92 | 0.09 |
| 189 | 2.5 | 83.33 | 16.67 | 0.09 |
| 210 | 3.0 | 79.87 | 20.13 | 0.10 |
| 245 | 3.4 | 77.03 | 22.97 | 0.09 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลืออยู่ของ PHA เมื่อเทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อเทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|-------------------|---|--|--|----------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.6 | 95.89 | 4.11 | 0.12 |
| 70 | 1.3 | 91.10 | 8.90 | 0.13 |
| 84 | 1.4 | 90.34 | 9.66 | 0.11 |
| 133 | 2.6 | 81.94 | 18.06 | 0.14 |
| 189 | 3.5 | 75.69 | 24.31 | 0.13 |
| 210 | 3.7 | 74.31 | 25.69 | 0.12 |
| 245 | 4.5 | 68.53 | 31.47 | 0.13 |

ตารางที่ 26 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

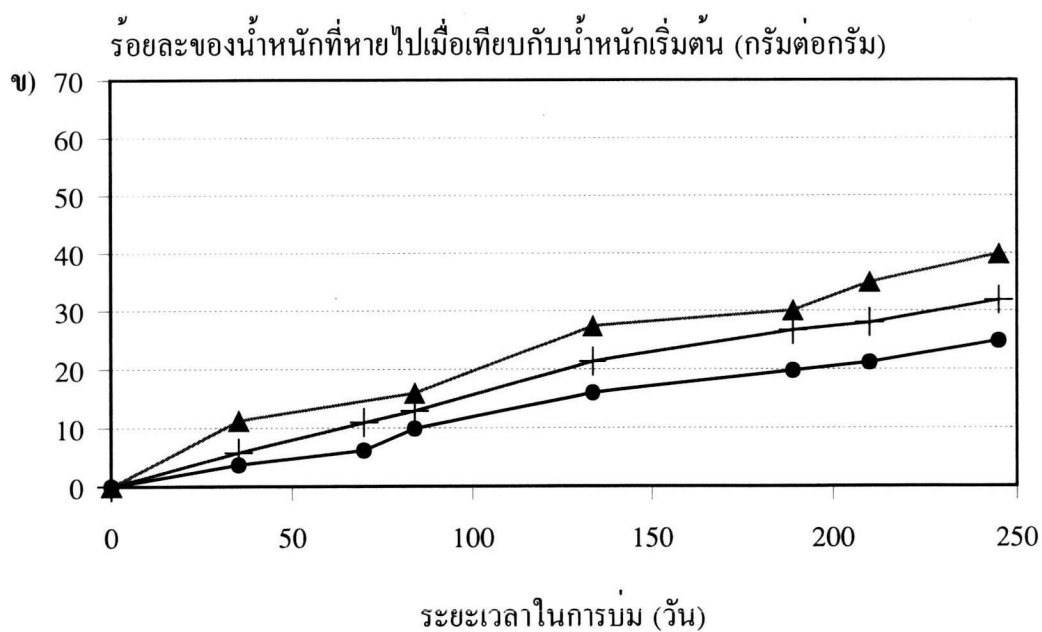
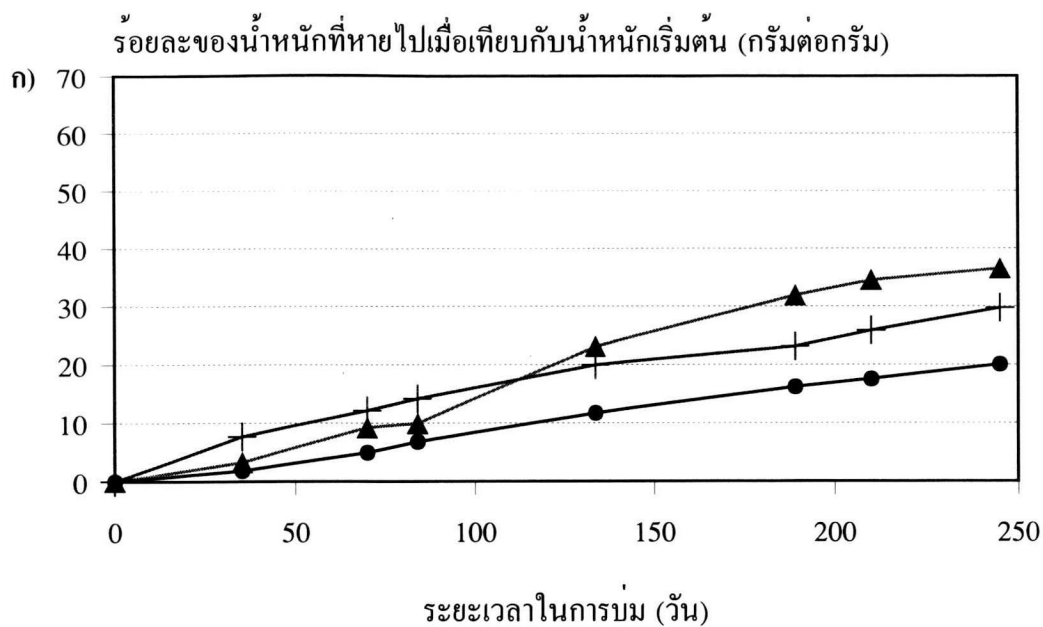
| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูงที่สุดเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|---|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.7 | 95.83 | 4.17 | 0.17 |
| 70 | 1.8 | 89.22 | 10.78 | 0.15 |
| 84 | 2.5 | 85.03 | 14.97 | 0.18 |
| 133 | 4.5 | 73.05 | 26.95 | 0.20 |
| 189 | 6.3 | 62.05 | 37.95 | 0.20 |
| 210 | 6.8 | 59.04 | 40.96 | 0.195 |
| 245 | 7.1 | 57.23 | 42.77 | 0.17 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูงที่สุดเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|---|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.5 | 90.45 | 9.55 | 0.27 |
| 70 | 3.4 | 78.06 | 21.94 | 0.31 |
| 84 | 4.1 | 73.38 | 26.62 | 0.32 |
| 133 | 5.7 | 62.75 | 37.25 | 0.28 |
| 189 | 7.0 | 53.95 | 46.05 | 0.24 |
| 210 | 7.4 | 50.67 | 49.33 | 0.23 |
| 245 | 8.5 | 43.33 | 56.67 | 0.23 |

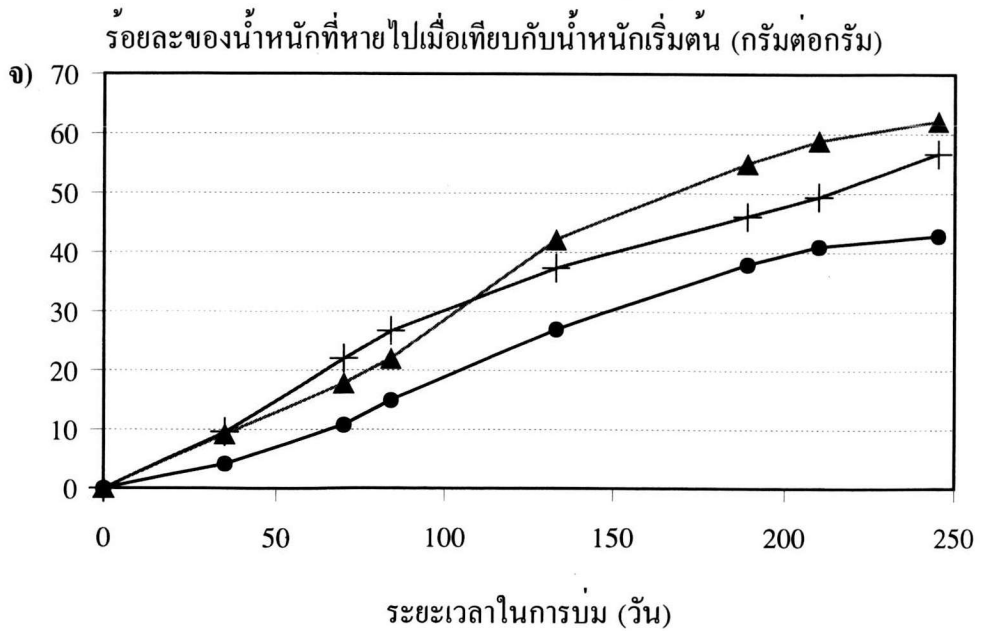
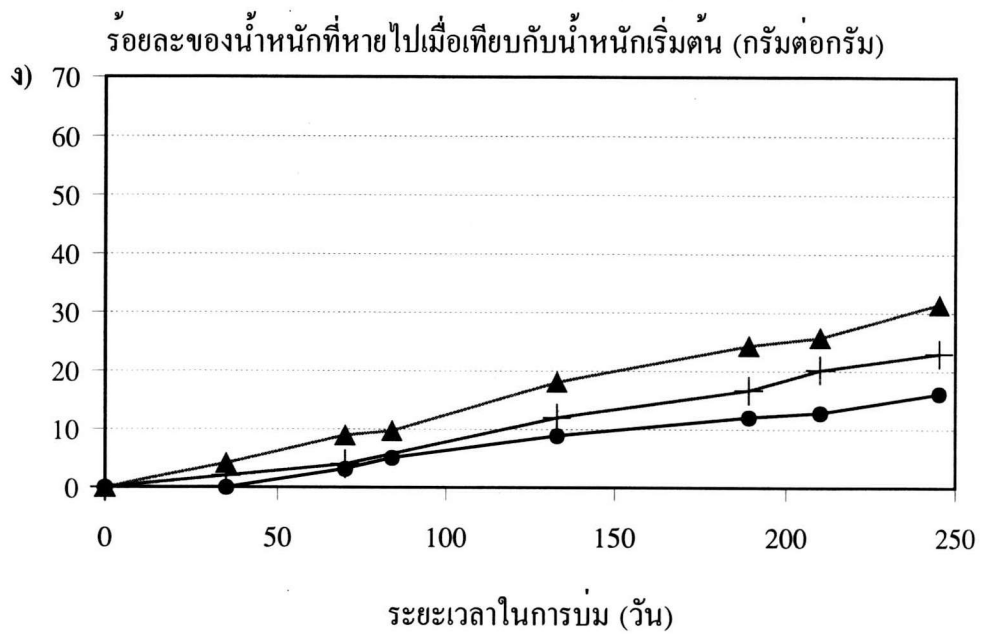
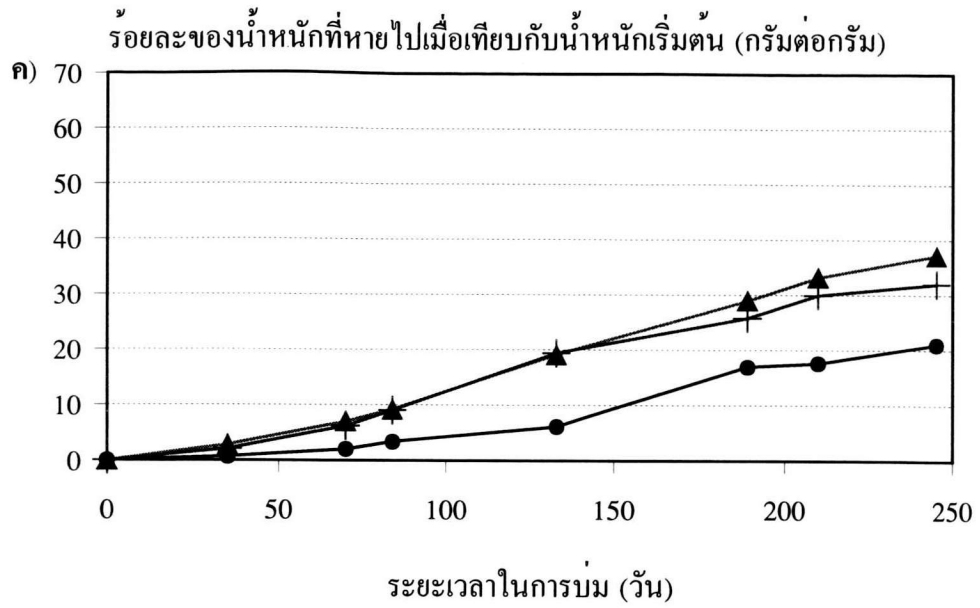
ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูงที่สุดเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|---|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.6 | 90.80 | 9.20 | 0.26 |
| 70 | 3.1 | 82.18 | 17.82 | 0.25 |
| 84 | 3.8 | 78.03 | 21.97 | 0.26 |
| 133 | 7.2 | 57.89 | 42.11 | 0.32 |
| 189 | 9.4 | 45.03 | 54.97 | 0.29 |
| 210 | 10.0 | 41.18 | 58.82 | 0.28 |
| 245 | 10.5 | 37.87 | 62.13 | 0.25 |



● 30 องศาเซลเซียส + 40 องศาเซลเซียส ▲ 55 องศาเซลเซียส

รูปที่ 12 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างกัน โดย ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ ข) ดินจากการเผาขยะ ค) ปุ๋ยคอก ง) ดินปลูก และ จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

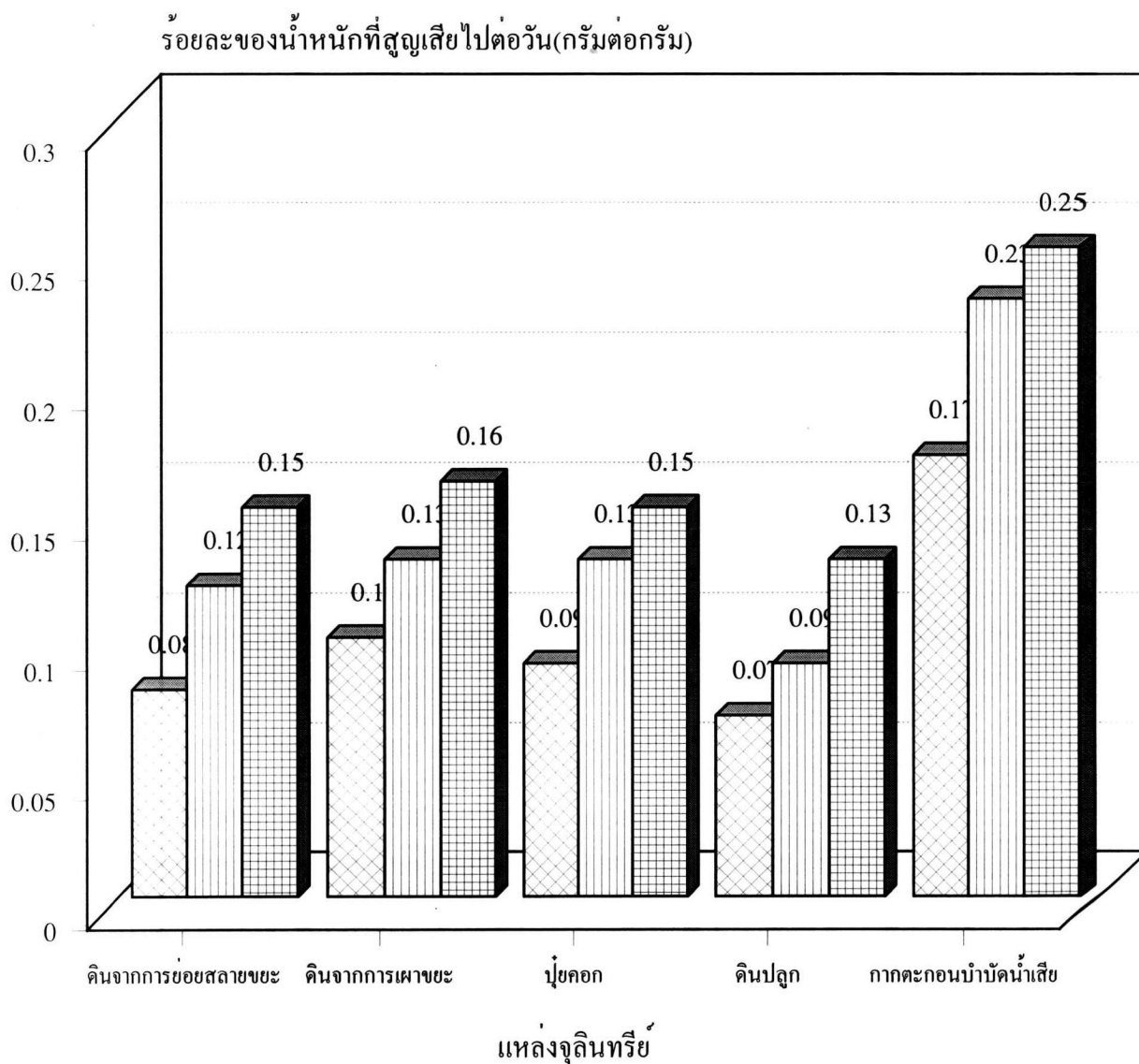


รูปที่ 12 (ต่อ)

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71% 3HV) เกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย รองลงมาคือดินจากการเผาขยะ ปุ๋ยคอกซึ่งใกล้เคียงกับดินจากการย่อยสลายขยะ และดินปลูกตามลำดับ และอัตราการย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบอัตราการผุพัง (คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ P(3HB-co-71%3HV) แสดงดังตารางที่ 27 และรูปที่ 13

ตารางที่ 27 อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 245 วัน ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด

| แหล่งของจุลินทรีย์ | ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวันที่อุณหภูมิต่างกัน | | |
|----------------------------|--|-------------|-------------|
| | 30 °ซ | 40 °ซ | 55 °ซ |
| ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0.08 | 0.12 | 0.15 |
| ดินจากการเผาขยะ | 0.10 | 0.13 | 0.16 |
| ปุ๋ยคอก | 0.09 | 0.13 | 0.15 |
| ดินปลูก | 0.07 | 0.09 | 0.13 |
| กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย | 0.17 | 0.23 | 0.25 |



รูปที่ 13 อัตราการผุพัง (ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน

□ 30 องศาเซลเซียส ▨ 40 องศาเซลเซียส ▩ 55 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ลดลงของแผ่นฟิล์มที่บ่มในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 28 พบว่าเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB-co-71%3HV) มีค่าลดลง ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิด โดยมีอัตราการลดลงที่แตกต่างกันตามชนิดของแหล่งจุลินทรีย์ และการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB-co-71%3HV) ลดลงมากขึ้นเช่นกัน การลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยทราบจากค่า Mw และ Mn ที่เปลี่ยนแปลงไป ผลจากการย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเริ่มต้นของ Mw เท่ากับ 389,000 Mn เท่ากับ 159,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 2.44 ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงสุดโดยได้ค่า Mw เท่ากับ 108,000 และ Mn เท่ากับ 87,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.24 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ รองลงมาคือแหล่งจุลินทรีย์ชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ โดยได้ค่า Mw เท่ากับ 137,000 กับ 193,000 และ Mn เท่ากับ 98,000 กับ 96,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.39 กับ 2.01 ตามลำดับ ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยคอกเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 และ 30 °ซ มีค่า Mw เท่ากับ 284,000 และ 323,000 ค่า Mn เท่ากับ 108,000 และ 103,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 2.63 และ 3.14 ตามลำดับ รวมถึงในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการเผาขยะเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 140 วัน มีค่า Mw และ Mn เท่ากับ 190,000 และ 106,000 ตามลำดับ และค่า PDI เท่ากับ 1.80

ตารางที่ 28 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | ระยะเวลาในการบ่ม (วัน) | น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ PHA เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------|--|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|
| | | | 30 °ซ | | | 40 °ซ | | | 55 °ซ | | |
| | | | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI |
| P(3HB-co-71%3HV) | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 |
| | | 70 | 375 | 148 | 2.53 | 348 | 128 | 2.72 | 351 | 121 | 2.90 |
| | | 140 | 341 | 137 | 2.49 | - | - | - | - | - | - |
| | ดินจากการเผาขยะ | 0 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 |
| | | 70 | 348 | 129 | 2.70 | - | - | - | 294 | 142 | 2.07 |
| | | 140 | 337 | 118 | 2.85 | 170 | 143 | 1.19 | 190 | 106 | 1.80 |
| | ปุ๋ยคอก | 0 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 |
| | | 70 | 364 | 125 | 2.91 | - | - | - | - | - | - |
| | | 140 | 323 | 108 | 3.14 | 336 | 119 | 2.82 | 284 | 108 | 2.63 |
| | ดินปลูก | 0 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 |
| | | 70 | - | - | - | 350 | 152 | 2.30 | 367 | 123 | 2.98 |
| | | 140 | - | - | - | 341 | 143 | 2.38 | 324 | 118 | 2.75 |
| | กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย | 0 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 | 389 | 159 | 2.44 |
| | | 70 | - | - | - | 340 | 188 | 1.81 | 296 | 124 | 2.39 |
| | | 140 | 193 | 96 | 2.01 | 137 | 98 | 1.39 | 108 | 87 | 1.24 |

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าเมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 70 วัน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า T_m และ Δh_f แตกต่างกัน ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงแสดงดังตารางที่ 29 โดยการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิด ทำให้ค่า T_m และ Δh_f เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้งหมด แสดงว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) เกิดขึ้นเฉพาะในส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน ผลจากการย่อยสลายเป็นเวลา 140 วัน ทำให้ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นจึงมีค่า T_m และ Δh_f เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 29 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ
 ต่างกันเป็นเวลา 140 วัน

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ PHA เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | |
|---|----------------------|---|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| | | 30 °ซ | | 40 °ซ | | 55 °ซ | |
| | | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) |
| P(3HB-co-71%3HV) Tm เริ่มต้นเท่ากับ 100.4 °ซ Δh_f เริ่มต้นเท่ากับ 27.75 จ/ก | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 102.6 | 40.88 | 102.9 | 45.14 | 108.2 | 46.91 |
| | ดินจากการเผาขยะ | 102.3 | 28.97 | 103.1 | 34.00 | 108.6 | 41.54 |
| | ปุ๋ยคอก | 102.4 | 29.60 | 104.2 | 42.10 | 108.7 | 45.55 |
| | ดินปลูก | 101.6 | 28.08 | 102.4 | 34.65 | 106.4 | 46.89 |
| | กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย | 102.9 | 32.24 | 104.6 | 36.28 | 109.0 | 49.53 |

3.4.3 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ในดิน

เมื่อบ่ม P(3HB-co-23%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน พบว่า P(3HB-co-23%4HB) ถูกย่อยสลายได้ดีมากในดินทั้ง 5 ชนิดในอัตราที่แตกต่างกัน โดยทราบได้จากน้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น และคิดเป็นอัตราการสูญพังของแผ่นฟิล์มคือน้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่สูญหายไปต่อวัน ผลการย่อยสลายแสดงดังตารางที่ 30 31 32 33 และ 34 และรูปที่ 14 พบว่าการย่อยสลายของ P(3HB-co-23%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการย่อยสลายขยะเมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกันให้อัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดย P(3HB-co-23%4HB) ถูกย่อยสลายได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 55 °ซ ซึ่งดีกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ ผลจากการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 245 วันทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหายไปเท่ากับ 5.5 13.5 และ 15.1 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 39.01 77.14 และ 93.79 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ตามลำดับ ส่วนการย่อยสลายในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการเผาขยะก็มีอัตราการย่อยสลายที่ต่างกันเช่นกัน โดยแผ่นฟิล์มของ P(3HB-co-23%4HB) ถูกย่อยสลายได้ทั้งหมดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ ภายในเวลา 210 วัน ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ โดยผลจากการย่อยสลายเป็นเวลา 245 วัน ที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์มลดลงเท่ากับ 15.9 และ 5.4 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 96.95 และ 46.55 ตามลำดับ เมื่อใช้แหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยคอก การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เกิดได้ดีที่สุดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ โดยสามารถย่อยสลายแผ่นฟิล์มได้หมดภายในระยะเวลา 189 วัน รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 40 °ซ โดยแผ่นฟิล์มสามารถถูกย่อยสลายได้หมดภายในเวลา 210 วัน และการบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ การย่อยสลายของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 245 วัน ทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหายไปเท่ากับ 7.6 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 78.35 การย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินปลูกเกิดได้ดีที่สุดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ โดยแผ่นฟิล์มถูกย่อยสลายจนหมดภายใน 189 วัน และผลการย่อยสลายเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วัน น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหายไปเท่ากับ 7.2 และ 3.8 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 85.71 และ 43.18 ตามลำดับ เมื่อใช้แหล่งจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถย่อยสลายแผ่นฟิล์มของ P(3HB-co-23%4HB) ได้ดีกว่าแหล่งจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยสามารถย่อยสลายแผ่นฟิล์มได้ทั้งหมดภายในระยะเวลา 189 210 และ 245 วัน เมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิ 55 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ

ตารางที่ 30 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
ดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 0.4 | 97.33 | 2.67 | 0.08 |
| 70 | 0.7 | 95.24 | 4.76 | 0.07 |
| 84 | 0.9 | 93.84 | 6.16 | 0.07 |
| 133 | 2.6 | 82.19 | 17.81 | 0.13 |
| 189 | 3.9 | 73.10 | 26.90 | 0.14 |
| 210 | 4.7 | 67.13 | 32.87 | 0.16 |
| 245 | 5.5 | 60.99 | 39.01 | 0.16 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.9 | 89.62 | 10.38 | 0.30 |
| 70 | 3.9 | 78.45 | 21.55 | 0.31 |
| 84 | 4.6 | 74.44 | 25.56 | 0.30 |
| 133 | 7.1 | 60.11 | 39.89 | 0.30 |
| 189 | 11.2 | 36.72 | 63.28 | 0.33 |
| 210 | 12.9 | 27.12 | 72.88 | 0.35 |
| 245 | 13.5 | 22.86 | 77.14 | 0.31 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 2.2 | 86.75 | 13.25 | 0.38 |
| 70 | 4.6 | 72.12 | 27.88 | 0.40 |
| 84 | 7.1 | 56.97 | 43.03 | 0.51 |
| 133 | 11.9 | 27.88 | 72.12 | 0.54 |
| 189 | 14.0 | 14.11 | 85.89 | 0.45 |
| 210 | 14.6 | 9.88 | 90.12 | 0.43 |
| 245 | 15.1 | 6.21 | 93.79 | 0.38 |

ตารางที่ 31 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
ดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.9 | 87.16 | 12.84 | 0.37 |
| 70 | 2.6 | 82.19 | 17.81 | 0.25 |
| 84 | 2.6 | 79.69 | 20.31 | 0.24 |
| 133 | 4.1 | 67.72 | 32.28 | 0.24 |
| 189 | 4.8 | 59.32 | 40.68 | 0.22 |
| 210 | 5.0 | 57.265 | 42.735 | 0.20 |
| 245 | 5.4 | 53.45 | 46.55 | 0.19 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 2.9 | 83.14 | 16.86 | 0.48 |
| 70 | 5.8 | 66.28 | 33.72 | 0.48 |
| 84 | 6.9 | 59.65 | 40.35 | 0.48 |
| 133 | 11.7 | 31.18 | 68.82 | 0.52 |
| 189 | 14.7 | 11.98 | 88.02 | 0.47 |
| 210 | 15.3 | 7.27 | 92.73 | 0.44 |
| 245 | 15.9 | 3.05 | 96.95 | 0.40 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 4.7 | 69.87 | 30.13 | 0.86 |
| 70 | 7.5 | 51.92 | 48.08 | 0.69 |
| 84 | 9.8 | 37.18 | 62.82 | 0.75 |
| 133 | 13.9 | 10.90 | 89.10 | 0.67 |
| 189 | 15.0 | 3.23 | 96.77 | 0.51 |
| 210 | 15.4 | 0.00 | 100.00 | 0.48 |
| 245 | 15.3 | 0.00 | 100.00 | 0.48 |

ตารางที่ 32 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
ปุ๋ยคอกที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.3 | 87.96 | 12.04 | 0.29 |
| 70 | 3.6 | 65.71 | 34.29 | 0.49 |
| 126 | 6.1 | 40.20 | 59.80 | 0.47 |
| 147 | 6.3 | 37.62 | 62.38 | 0.42 |
| 189 | 6.8 | 32.00 | 68.00 | 0.36 |
| 210 | 7.1 | 28.28 | 71.72 | 0.34 |
| 245 | 7.6 | 21.65 | 78.35 | 0.32 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.5 | 83.15 | 16.85 | 0.40 |
| 70 | 4.2 | 51.16 | 48.84 | 0.70 |
| 126 | 6.0 | 29.41 | 70.59 | 0.56 |
| 147 | 6.8 | 19.05 | 80.95 | 0.55 |
| 189 | 7.8 | 7.14 | 92.86 | 0.49 |
| 210 | 7.8 | 3.70 | 96.30 | 0.46 |
| 245 | 8.0 | 0.00 | 100.00 | 0.41 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 2.1 | 72.00 | 28.00 | 0.67 |
| 70 | 4.5 | 39.19 | 60.81 | 0.87 |
| 126 | 6.9 | 5.48 | 94.52 | 0.75 |
| 147 | 7.0 | 2.78 | 97.22 | 0.66 |
| 189 | 7.2 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |
| 210 | 7.2 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |
| 245 | - | - | - | - |

ตารางที่ 33 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
ดินปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.4 | 95.79 | 4.21 | 0.10 |
| 70 | 0.4 | 95.74 | 4.26 | 0.06 |
| 126 | 1.7 | 81.91 | 18.09 | 0.14 |
| 147 | 1.8 | 80.00 | 20.00 | 0.14 |
| 189 | 2.8 | 68.89 | 31.11 | 0.16 |
| 210 | 3.1 | 65.17 | 34.83 | 0.17 |
| 245 | 3.8 | 56.82 | 43.18 | 0.18 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.5 | 82.76 | 17.24 | 0.41 |
| 70 | 2.4 | 72.41 | 27.59 | 0.39 |
| 126 | 5.3 | 39.08 | 60.92 | 0.48 |
| 147 | 5.8 | 32.56 | 67.44 | 0.46 |
| 189 | 6.7 | 21.18 | 78.82 | 0.42 |
| 210 | 7.0 | 17.65 | 82.35 | 0.39 |
| 245 | 7.2 | 14.29 | 85.71 | 0.35 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น.เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 2.0 | 75.90 | 24.10 | 0.57 |
| 70 | 4.3 | 46.91 | 53.09 | 0.76 |
| 126 | 7.2 | 11.11 | 88.89 | 0.71 |
| 147 | 7.7 | 4.94 | 95.06 | 0.65 |
| 189 | 8.0 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |
| 210 | 7.9 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |
| 245 | - | - | - | - |

ตารางที่ 34 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์เป็น
กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

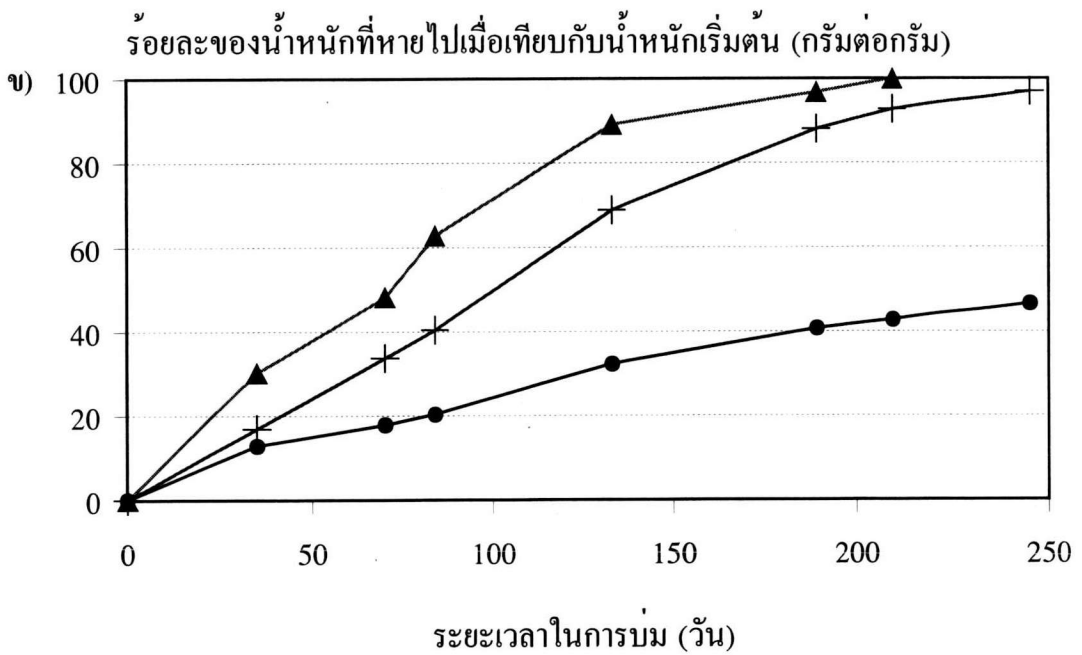
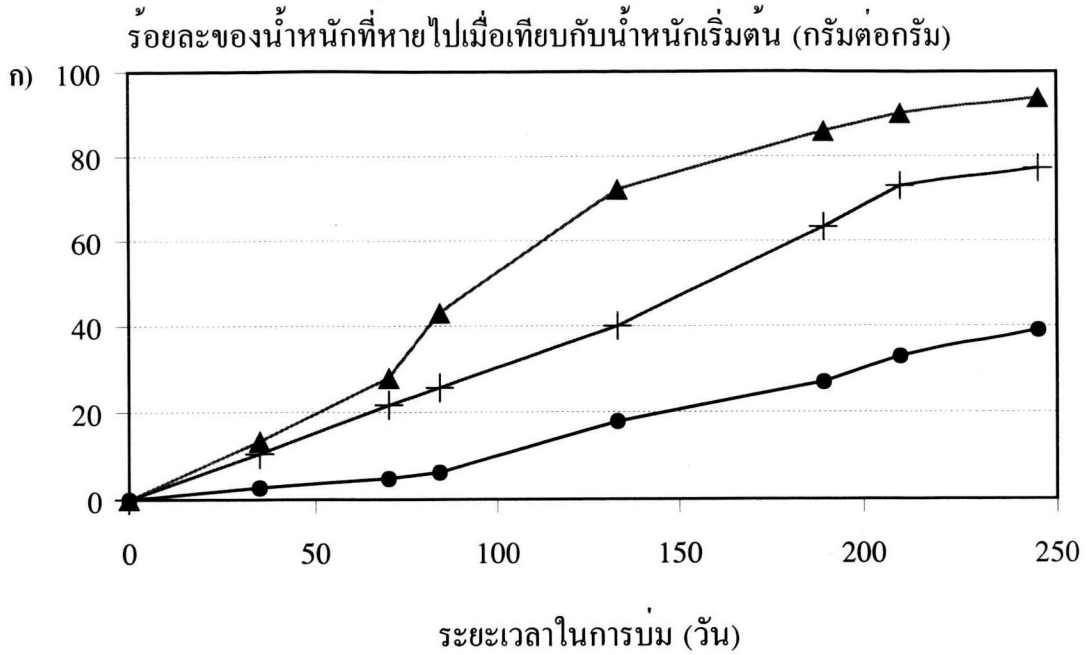
| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 2.9 | 82.94 | 17.06 | 0.49 |
| 70 | 6.6 | 61.18 | 38.82 | 0.55 |
| 84 | 8.2 | 51.48 | 48.52 | 0.58 |
| 133 | 11.9 | 27.88 | 72.12 | 0.54 |
| 189 | 15.0 | 9.09 | 90.91 | 0.48 |
| 210 | 15.8 | 3.07 | 96.93 | 0.46 |
| 245 | 16.2 | 0.00 | 100.00 | 0.41 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 3.0 | 81.13 | 18.87 | 0.54 |
| 70 | 7.4 | 53.16 | 46.84 | 0.67 |
| 84 | 9.2 | 41.03 | 58.97 | 0.70 |
| 133 | 12.8 | 17.95 | 82.05 | 0.62 |
| 189 | 15.0 | 3.85 | 96.15 | 0.51 |
| 210 | 15.4 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |
| 245 | 15.4 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |

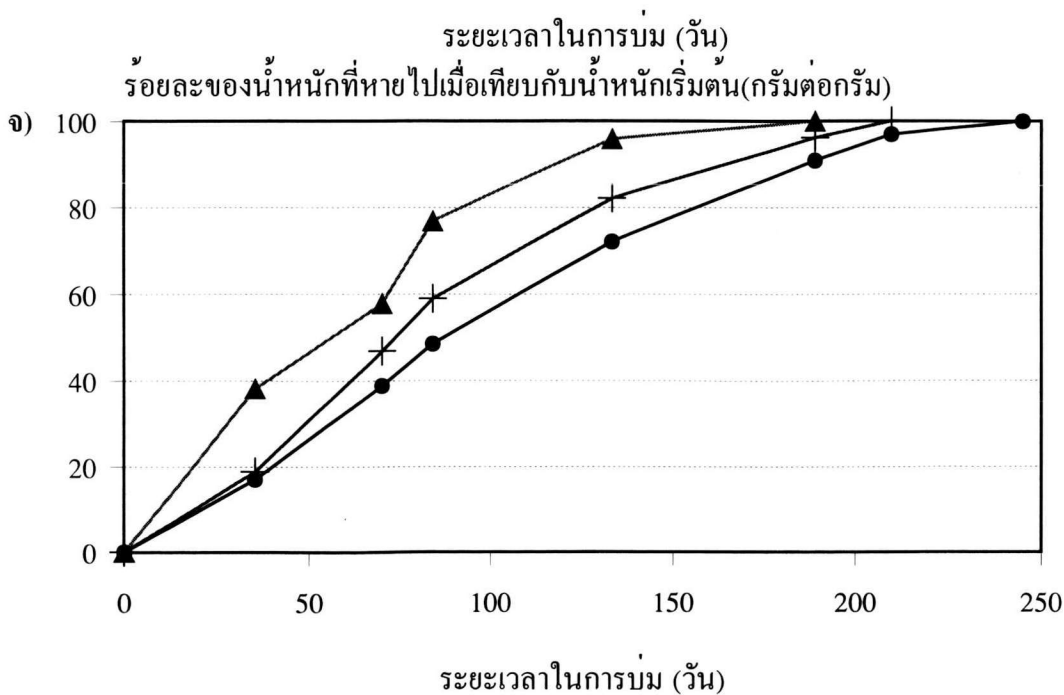
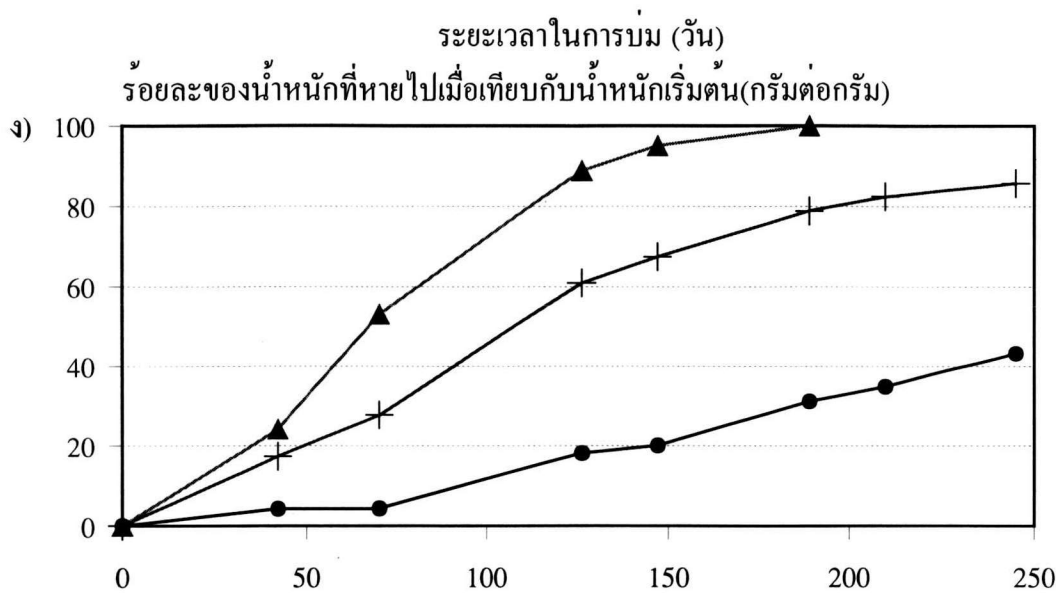
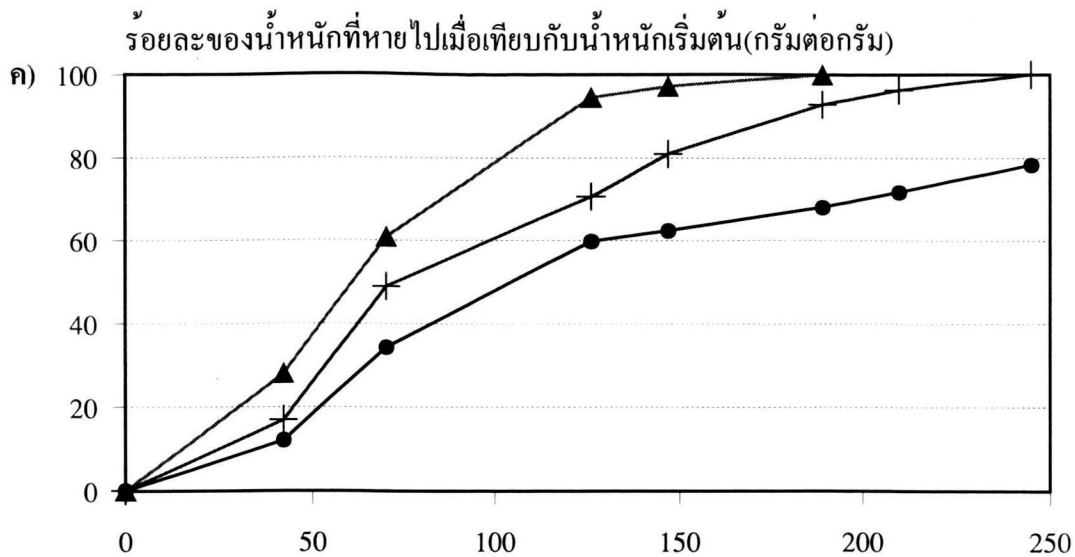
ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 5.6 | 61.90 | 38.10 | 1.09 |
| 70 | 8.5 | 42.18 | 57.82 | 0.83 |
| 84 | 11.3 | 23.13 | 76.87 | 0.915 |
| 133 | 14.0 | 4.11 | 95.89 | 0.72 |
| 189 | 14.5 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |
| 210 | 14.4 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |
| 245 | 14.4 | 0.00 | 100.00 | 0.53 |



● 30 องศาเซลเซียส + 40 องศาเซลเซียส ▲ 55 องศาเซลเซียส

รูปที่ 14 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด ที่อุณหภูมิต่างกัน โดย ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ ข) ดินจากการเผาขยะ ค) ปุ๋ยคอก ง) ดินปลูก และ จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย



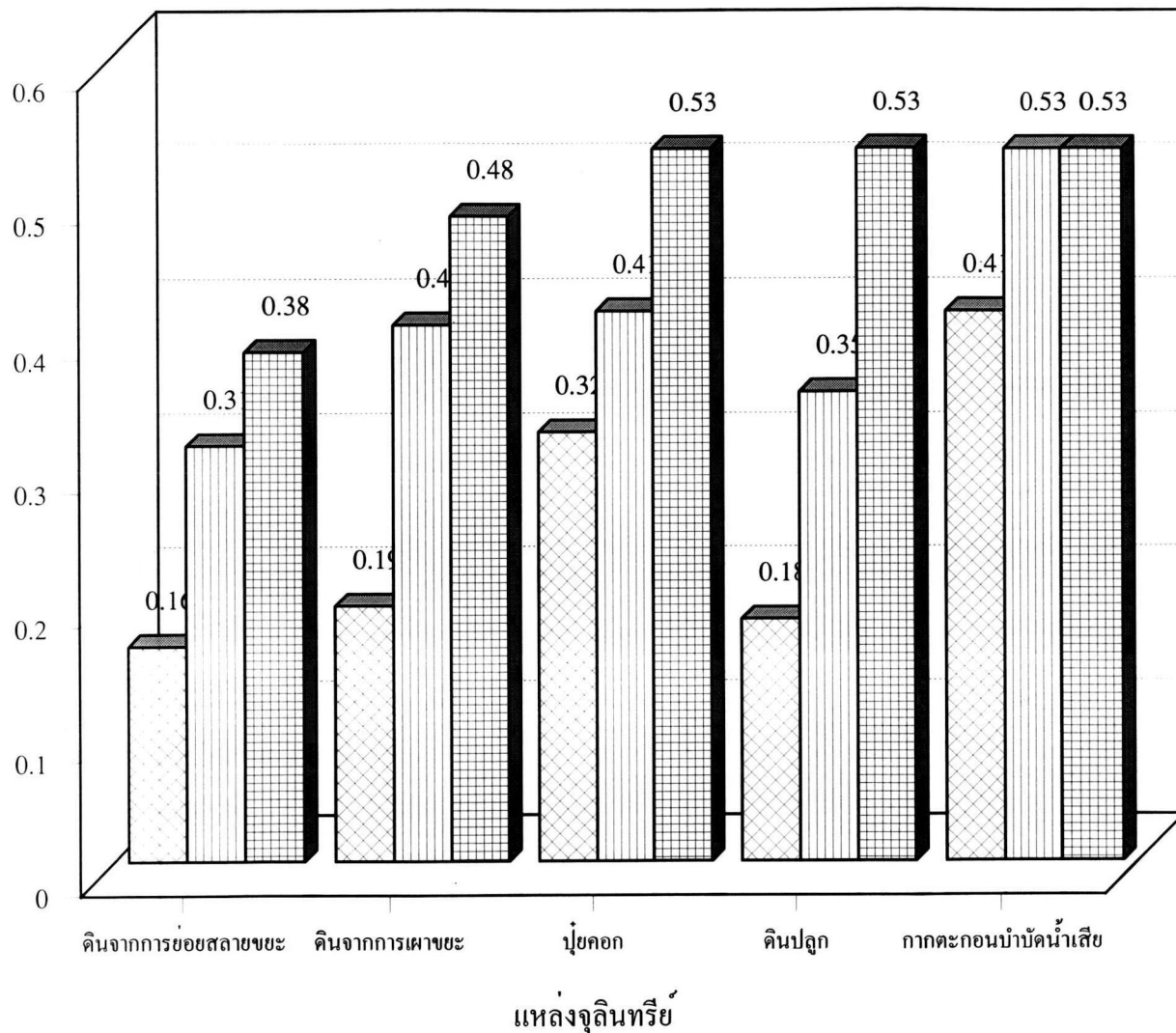
รูปที่ 14 (ต่อ)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ใน แหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด พบว่า อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์มเมื่อทำการย่อยสลายในกาก ตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเกิดขึ้นได้ดีที่สุด รองลงมาคือปุ๋ยคอก ดินจากการเผาขยะ ดินปลูก และดินจากการย่อยสลายขยะตามลำดับ และการย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยการย่อยสลายของ P(3HB-co-23%4HB) ที่อุณหภูมิ 55 °ซ เกิดได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) เปรียบเทียบในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดแสดงผลดังตารางที่ 35 และรูปที่ 15

ตารางที่ 35 อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 245 วัน ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด

| แหล่งของจุลินทรีย์ | ร้อยละของน้ำหนักที่สูญหายไปต่อวันที่อุณหภูมิต่างกัน | | |
|----------------------------|---|-------------|-------------|
| | 30 °ซ | 40 °ซ | 55 °ซ |
| ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0.16 | 0.31 | 0.38 |
| ดินจากการเผาขยะ | 0.19 | 0.40 | 0.48 |
| ปุ๋ยคอก | 0.32 | 0.41 | 0.53 |
| ดินปลูก | 0.18 | 0.35 | 0.53 |
| กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย | 0.41 | 0.53 | 0.53 |

ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน(กรัมต่อกรัม)



รูปที่ 15 อัตราการผุพัง (ร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียไปต่อวัน) ของ P(3HB-co-23%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน

30 องศาเซลเซียส
 40 องศาเซลเซียส
 55 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ลดลงของ P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง จุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 36 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการ บ่มเพิ่มขึ้น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB-co-23%4HB) มีค่าลดลง ซึ่งให้ผลการทดลองที่ เป็นไปในทำนองเดียวกันในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดโดยมีอัตราการลดลงที่แตกต่างกันตามชนิด ของแหล่งจุลินทรีย์ และการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB-co-23%4HB) ลดลงมากขึ้นเช่นกัน ผลการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยทราบได้จากค่า Mw และ Mn ที่เปลี่ยนแปลง ผลการย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ที่มีน้ำหนัก โมเลกุลเฉลี่ยเริ่มต้นที่มีค่า Mw เท่ากับ 410,000 Mn เท่ากับ 318,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.29 เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเป็นระยะเวลา 70 วัน พบ ว่ามีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงสุดโดยได้ค่า Mw เท่ากับ 104,000 89,000 และ 110,000 และมีค่า Mn เท่ากับ 24,000 36,000 และ 46,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 4.33 2.47 และ 2.38 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °C 40 °C และ 30 °C ตามลำดับ (การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยจากการทดลองที่เวลานานกว่านี้ไม่ได้ทำการศึกษา เนื่องจากปริมาณ ของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ที่เหลืออยู่ไม่เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์) รองลงมาคือแหล่งจุลินทรีย์ ที่เป็นรุ่มคอก โดยได้ค่า Mw เท่ากับ 27,000 Mn เท่ากับ 13,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 2.08 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 140 วัน และในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการเผาขยะที่ อุณหภูมิ 55 °C และ 40 °C รวมถึงดินจากการย่อยสลายขยะและดินปลูกที่อุณหภูมิ 55 °C โดยได้ ค่า Mw เท่ากับ 56,000 62,000 154,000 และ 124,000 ค่า Mn เท่ากับ 26,000 35,000 33,000 และ 13,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 2.15 1.77 4.69 และ 2.08 ตามลำดับ

ตารางที่ 36 นำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | ระยะเวลาในการบ่ม (วัน) | น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ PHA เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|------------------------|--|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|
| | | | 30 °ซ | | | 40 °ซ | | | 55 °ซ | | |
| | | | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI |
| P(3HB-co-23%4HB) | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 |
| | | 70 | 226 | 143 | 1.58 | 340 | 168 | 2.02 | - | - | - |
| | | 140 | 227 | 92 | 2.47 | 159 | 47 | 3.38 | 154 | 33 | 4.67 |
| | ดินจากการเผาขยะ | 0 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 |
| | | 70 | - | - | - | 336 | 196 | 1.72 | 131 | 98 | 1.34 |
| | | 140 | 144 | 88 | 1.64 | 62 | 35 | 1.77 | 56 | 26 | 2.15 |
| | ปุ๋ยคอก | 0 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 |
| | | 70 | 216 | 112 | 1.93 | - | - | - | - | - | - |
| | | 140 | 99 | 41 | 2.41 | - | - | - | 27 | 13 | 2.08 |
| ดินปลูก | 0 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 | |
| | 70 | 237 | 125 | 1.90 | 148 | 99 | 1.49 | 198 | 55 | 3.60 | |
| | 140 | - | - | - | 116 | 67 | 1.73 | 124 | 27 | 4.59 | |
| กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย | 0 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 | 410 | 318 | 1.29 | |
| | 70 | 110 | 46 | 2.38 | 89 | 36 | 2.47 | 104 | 24 | 4.33 | |

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าเมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 70 วัน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า T_m และ Δh_f แตกต่างกัน ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงแสดงดังตารางที่ 37 โดยการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นอากาศก่อนจากการบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 70 วัน มีค่า T_m และ Δh_f ลดลงและมีค่าลดลงมากขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่การย่อยสลายของ P(3HB-co-23%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ทำให้ค่า T_m และ Δh_f เพิ่มขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 30 °ซ และค่า T_m และ Δh_f ลดลงเมื่ออุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้นเป็น 40 และ 55 °ซ ตามลำดับ

ตารางที่ 37 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ
ต่างกันเป็นเวลา 70 วัน

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ PHA เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | |
|---|-------------------------|---|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| | | 30 °ซ | | 40 °ซ | | 55 °ซ | |
| | | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) |
| P(3HB-co-23%4HB) Tm เริ่มต้นเท่ากับ 164.5 °ซ Δh_f เริ่มต้นเท่ากับ 47.10 จ/ก | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 165.5 | 47.41 | 155.4 | 41.63 | 151.2 | 37.60 |
| | ดินจากการเผาขยะ | 166.0 | 52.96 | 156.8 | 44.25 | 154.8 | 40.55 |
| | ปุ๋ยคอก | 164.9 | 50.03 | 152.4 | 39.96 | 145.6 | 35.24 |
| | ดินปลูก | 167.0 | 53.41 | 158.3 | 46.69 | 152.5 | 38.06 |
| | กากตะกอนน้ำบำบัดน้ำเสีย | 163.4 | 45.46 | 153.6 | 39.11 | 140.4 | 33.34 |

3.4.4 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในดิน

เมื่อบ่มขึ้นพอลิเมอร์ของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ถูกย่อยสลายได้ในอัตราที่แตกต่างกันตามชนิดของดินและอุณหภูมิที่บ่ม ผลการย่อยสลายแสดงดังตารางที่ 38 39 40 41 และ 42 และรูปที่ 16 โดยเมื่อบ่ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการย่อยสลายขยะ มีการหายไปของน้ำหนักของแผ่นฟิล์มเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ มากกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วัน น้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 55 40 และ 30 °ซ หายไปเท่ากับ 7.2 6.4 และ 4.9 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 49.66 42.95 และ 31.82 ตามลำดับ เมื่อบ่มขึ้นตัวอย่างพอลิเมอร์ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินจากการเผาขยะ อัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 55 °ซ โดยดีกว่าเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ผลการย่อยสลายเมื่อทำการทดลองเป็นระยะเวลา 245 วัน พบว่าน้ำหนักของแผ่นฟิล์มลดลง 9.8 7.7 และ 5.2 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 68.06 52.03 และ 33.99 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยคอก อัตราการย่อยสลายของแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เกิดได้ดีที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วัน น้ำหนักของแผ่นฟิล์มลดลง 9.1 7.5 และ 5.4 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 68.94 53.96 และ 36.99 ส่วนการย่อยสลายของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นดินปลูก พบว่าที่อุณหภูมิ 55 °ซ การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ น้ำหนักของแผ่นฟิล์มที่หายไปเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วันที่ทั้ง 3 อุณหภูมิเท่ากับ 6.8 5.5 และ 3.9 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 48.92 38.73 และ 25.83 ตามลำดับ การย่อยสลายของแผ่นฟิล์มในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ให้ผลการย่อยสลายที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งจุลินทรีย์ชนิดอื่น โดย P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ถูกย่อยสลายได้ดีที่อุณหภูมิ 55 °ซ ซึ่งให้ผลดีกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ ผลการย่อยสลายทำให้น้ำหนักของแผ่นฟิล์มหายไป 12.5 12.3 และ 11.2 มก. คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 82.78 78.85 และ 68.71 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 245 วัน

ตารางที่ 38 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง
จุลินทรีย์เป็นดินจากการย่อยสลายขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.6 | 96.20 | 3.80 | 0.09 |
| 77 | 1.1 | 92.95 | 7.05 | 0.09 |
| 126 | 2.5 | 83.97 | 16.03 | 0.13 |
| 147 | 3.1 | 80.13 | 19.87 | 0.135 |
| 189 | 3.8 | 75.64 | 24.36 | 0.13 |
| 210 | 4.2 | 72.90 | 27.10 | 0.13 |
| 245 | 4.9 | 68.18 | 31.82 | 0.13 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.9 | 94.12 | 5.88 | 0.14 |
| 77 | 1.5 | 90.13 | 9.87 | 0.13 |
| 126 | 2.9 | 80.92 | 19.08 | 0.15 |
| 147 | 3.5 | 76.97 | 23.03 | 0.16 |
| 189 | 4.6 | 69.33 | 30.67 | 0.16 |
| 210 | 5.3 | 64.67 | 35.33 | 0.17 |
| 245 | 6.4 | 57.05 | 42.95 | 0.18 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.5 | 83.11 | 10.20 | 0.24 |
| 77 | 2.4 | 75.51 | 16.33 | 0.21 |
| 126 | 3.8 | 63.01 | 26.03 | 0.21 |
| 147 | 4.4 | 60.27 | 30.14 | 0.205 |
| 189 | 5.7 | 54.86 | 39.04 | 0.21 |
| 210 | 6.1 | 52.08 | 42.07 | 0.20 |
| 245 | 7.2 | 50.34 | 49.66 | 0.20 |

ตารางที่ 39 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง
จุลินทรีย์เป็นดินจากการเผาขยะที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.6 | 96.20 | 3.80 | 0.09 |
| 77 | 1.1 | 92.90 | 7.10 | 0.09 |
| 126 | 2.3 | 85.065 | 14.935 | 0.12 |
| 147 | 2.6 | 83.12 | 16.88 | 0.11 |
| 189 | 3.7 | 78.57 | 24.03 | 0.13 |
| 210 | 4.3 | 72.08 | 27.92 | 0.13 |
| 245 | 5.2 | 66.01 | 33.99 | 0.14 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.9 | 94.08 | 5.92 | 0.14 |
| 77 | 1.5 | 90.13 | 9.87 | 0.13 |
| 126 | 3.5 | 76.67 | 23.33 | 0.185 |
| 147 | 4.5 | 70.00 | 30.00 | 0.20 |
| 189 | 5.6 | 62.67 | 37.33 | 0.20 |
| 210 | 6.2 | 58.67 | 41.33 | 0.20 |
| 245 | 7.7 | 47.97 | 52.03 | 0.21 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.5 | 89.865 | 10.135 | 0.24 |
| 77 | 2.8 | 81.08 | 18.92 | 0.25 |
| 126 | 5.1 | 65.07 | 34.93 | 0.28 |
| 147 | 6.5 | 55.48 | 44.52 | 0.30 |
| 189 | 8.2 | 43.06 | 56.94 | 0.30 |
| 210 | 8.8 | 38.89 | 61.11 | 0.29 |
| 245 | 9.8 | 31.94 | 68.06 | 0.28 |

ตารางที่ 40 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง
จุลินทรีย์เป็นปุ๋ยคอกที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.6 | 96.00 | 4.00 | 0.10 |
| 77 | 1.1 | 92.57 | 7.43 | 0.10 |
| 126 | 2.5 | 83.11 | 16.89 | 0.13 |
| 147 | 2.9 | 80.27 | 19.73 | 0.13 |
| 189 | 3.8 | 74.15 | 25.85 | 0.14 |
| 210 | 4.4 | 70.07 | 29.93 | 0.14 |
| 245 | 5.4 | 63.01 | 36.99 | 0.15 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.3 | 90.91 | 9.09 | 0.22 |
| 77 | 2.1 | 85.21 | 14.79 | 0.19 |
| 126 | 3.8 | 73.05 | 26.95 | 0.21 |
| 147 | 4.8 | 65.96 | 34.04 | 0.23 |
| 189 | 6.1 | 56.12 | 43.88 | 0.23 |
| 210 | 6.8 | 51.08 | 48.92 | 0.23 |
| 245 | 7.5 | 46.04 | 53.96 | 0.22 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 1.9 | 86.03 | 13.97 | 0.33 |
| 77 | 3.0 | 77.94 | 22.06 | 0.29 |
| 126 | 4.6 | 66.18 | 33.82 | 0.27 |
| 147 | 5.4 | 60.00 | 40.00 | 0.27 |
| 189 | 6.6 | 51.11 | 48.89 | 0.26 |
| 210 | 7.5 | 44.03 | 55.97 | 0.27 |
| 245 | 9.1 | 31.06 | 68.94 | 0.28 |

ตารางที่ 41 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง
จุลินทรีย์เป็นดินปลูกที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูงสูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|---------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.3 | 98.05 | 1.95 | 0.05 |
| 77 | 0.6 | 96.10 | 3.90 | 0.05 |
| 126 | 1.8 | 88.24 | 11.76 | 0.09 |
| 147 | 2.1 | 86.18 | 13.82 | 0.09 |
| 189 | 3.2 | 78.81 | 21.19 | 0.11 |
| 210 | 3.3 | 78.15 | 21.85 | 0.10 |
| 245 | 3.9 | 74.17 | 25.83 | 0.11 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูงสูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|---------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.5 | 96.62 | 3.38 | 0.08 |
| 77 | 1.0 | 93.24 | 6.76 | 0.09 |
| 126 | 2.2 | 85.14 | 14.86 | 0.12 |
| 147 | 2.9 | 80.14 | 19.86 | 0.14 |
| 189 | 3.6 | 75.00 | 25.00 | 0.13 |
| 210 | 4.1 | 71.13 | 28.87 | 0.14 |
| 245 | 5.5 | 61.27 | 38.73 | 0.16 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | นน.ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของนน.ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน.ที่หาย ไปของ PHA เมื่อ เทียบกับนน.เริ่มต้น | ร้อยละของนน. ที่สูงสูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|---------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 42 | 0.7 | 95.07 | 4.93 | 0.12 |
| 77 | 1.4 | 90.07 | 9.93 | 0.13 |
| 126 | 3.1 | 78.01 | 21.99 | 0.17 |
| 147 | 4.4 | 68.79 | 31.21 | 0.21 |
| 189 | 5.4 | 61.43 | 38.57 | 0.20 |
| 210 | 6.1 | 56.12 | 43.88 | 0.21 |
| 245 | 6.8 | 51.08 | 48.92 | 0.20 |

ตารางที่ 42 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่ง
จุลินทรีย์เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่อุณหภูมิต่างกัน

ก) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

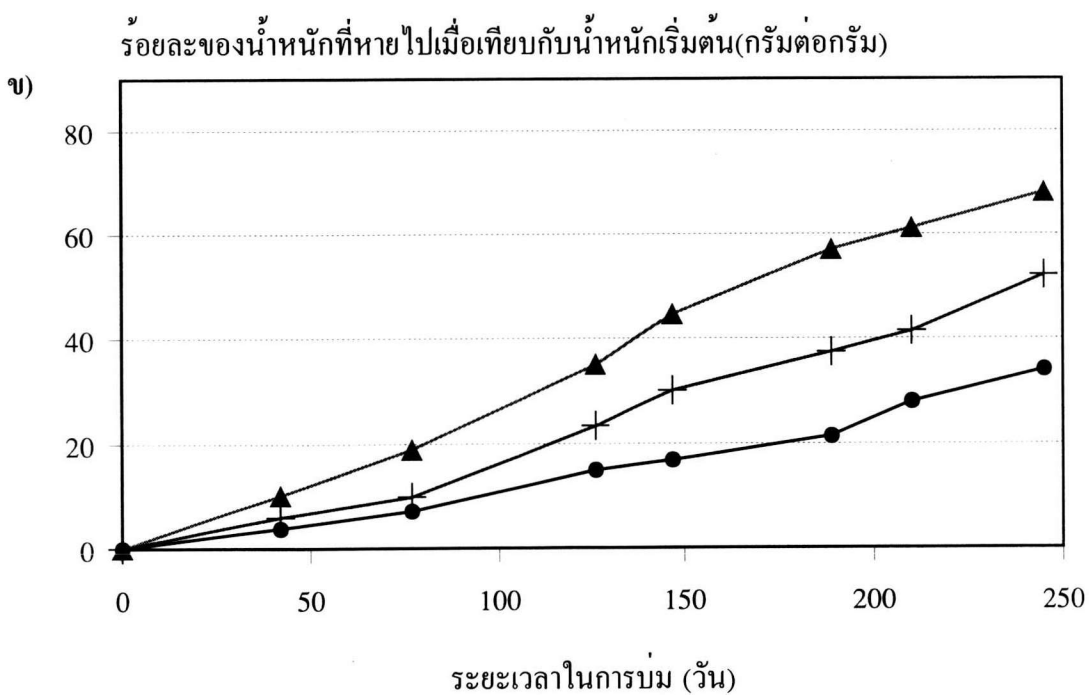
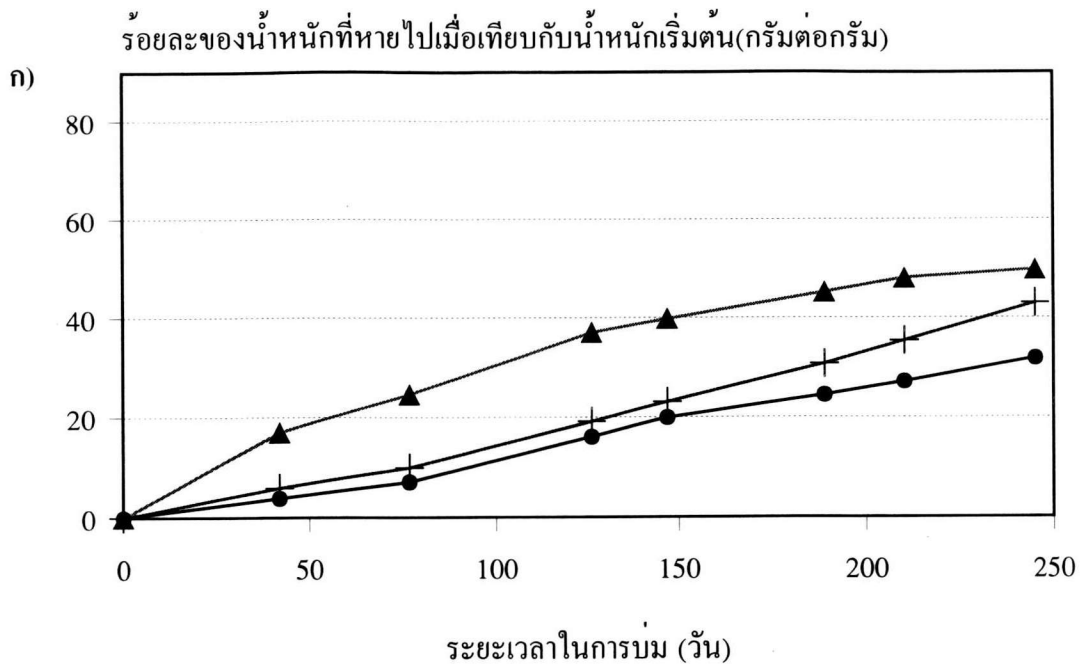
| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.0 | 94.05 | 5.95 | 0.17 |
| 70 | 2.2 | 86.67 | 13.33 | 0.19 |
| 84 | 2.8 | 83.43 | 16.57 | 0.20 |
| 133 | 6.4 | 60.98 | 39.02 | 0.29 |
| 189 | 9.6 | 41.10 | 58.90 | 0.31 |
| 210 | 10.1 | 38.04 | 61.96 | 0.295 |
| 245 | 11.2 | 31.29 | 68.71 | 0.28 |

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.4 | 91.25 | 8.75 | 0.25 |
| 70 | 3.1 | 80.625 | 19.375 | 0.28 |
| 84 | 4.3 | 73.125 | 26.875 | 0.32 |
| 133 | 8.2 | 48.10 | 51.90 | 0.39 |
| 189 | 10.5 | 33.12 | 66.88 | 0.35 |
| 210 | 11.2 | 28.66 | 71.34 | 0.34 |
| 245 | 12.3 | 21.15 | 78.85 | 0.32 |

ค) บ่มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

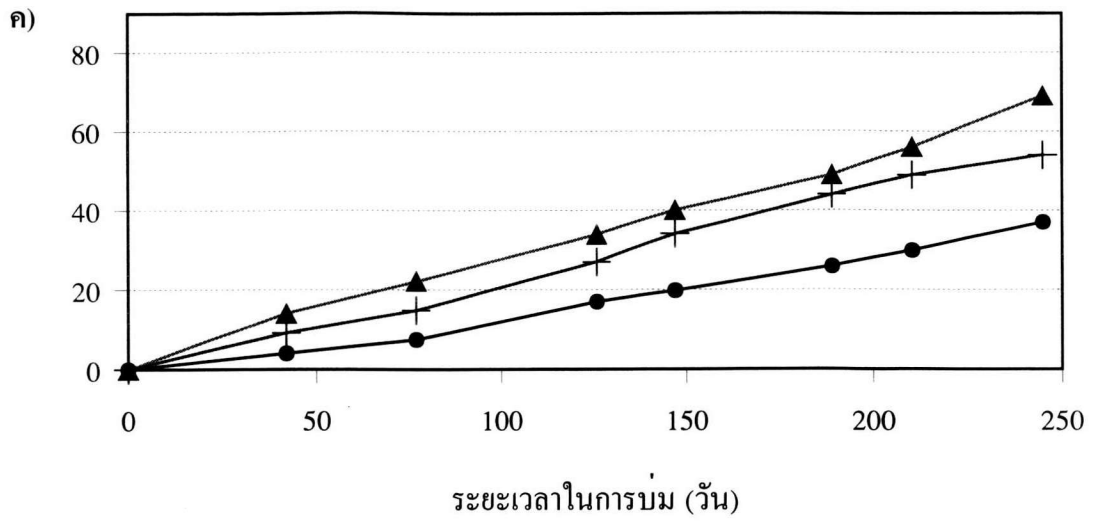
| ระยะเวลาบ่ม (วัน) | น.น. ที่หายไปของ PHA (กรัม $\times 10^{-3}$) | ร้อยละของน.น. ที่เหลือ อยู่ของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่หายไปของ PHA เมื่อ เทียบกับน.น. เริ่มต้น | ร้อยละของน.น. ที่สูญเสียไปต่อวัน |
|----------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| 0 | 0.0 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 35 | 1.7 | 88.89 | 11.11 | 0.32 |
| 70 | 4.1 | 73.20 | 26.80 | 0.38 |
| 84 | 5.2 | 66.01 | 33.99 | 0.40 |
| 133 | 8.9 | 41.45 | 58.55 | 0.44 |
| 189 | 11.2 | 25.83 | 74.17 | 0.39 |
| 210 | 11.7 | 22.52 | 77.48 | 0.37 |
| 245 | 12.5 | 17.22 | 82.78 | 0.34 |



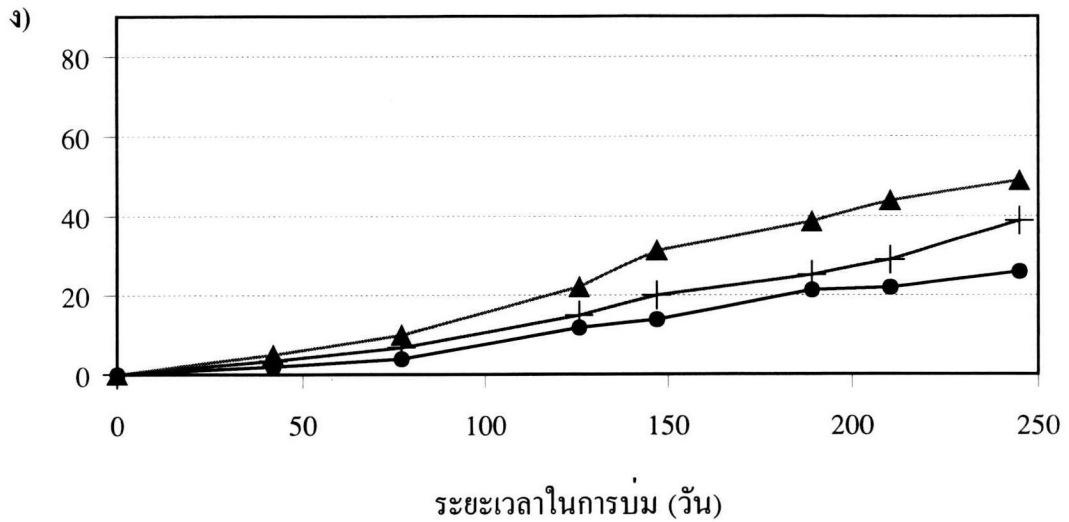
● 30 องศาเซลเซียส + 40 องศาเซลเซียส ▲ 55 องศาเซลเซียส

รูปที่ 16 การย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ที่อุณหภูมิต่างกัน ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด โดย ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ ข) ดินจากการเผาขยะ ค) ปุ๋ยคอก ง) ดินปลูก และ จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

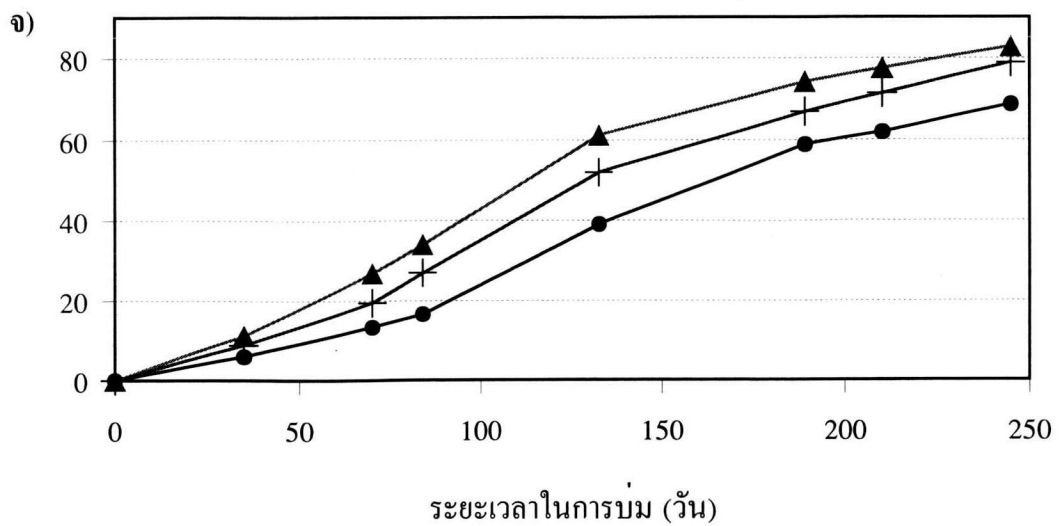
ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น(กรัมต่อกรัม)



ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น(กรัมต่อกรัม)



ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปเมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น(กรัมต่อกรัม)



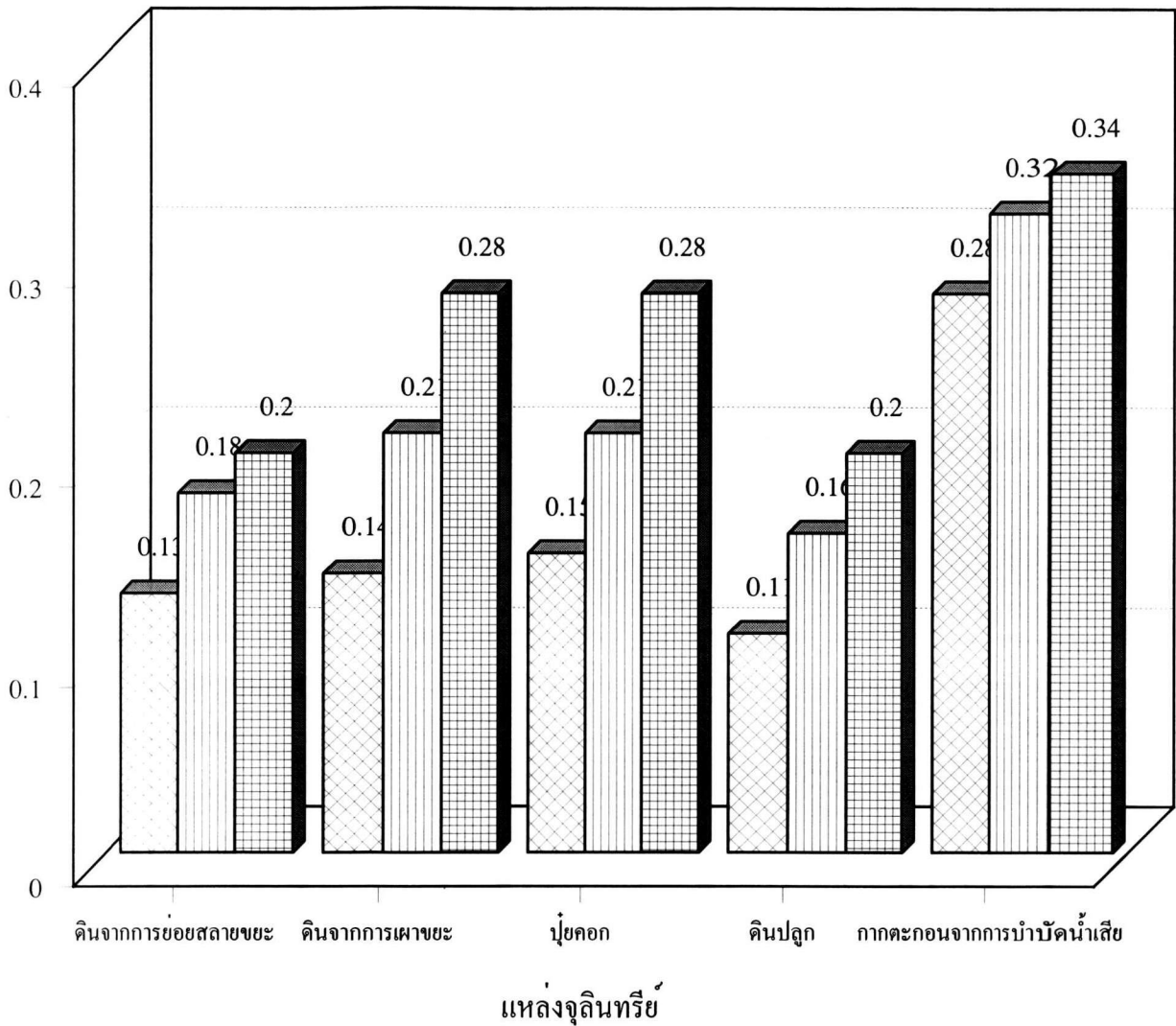
รูปที่ 16 (ต่อ)

จากผลการทดลอง ทำให้สรุปได้ว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย รองลงมาคือปุ๋ยคอกซึ่งใกล้เคียงกับดินจากการเผาขยะ ดินจากการย่อยสลายขยะ และดินปลูกตามลำดับ และอัตราการย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบผลการย่อยสลายที่คิดเป็นอัตราการผุพังของแผ่นฟิล์มต่อวันของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) แสดงดังตารางที่ 43 และรูปที่ 17

ตารางที่ 43 อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 245 วัน ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด

| แหล่งของจุลินทรีย์ | ร้อยละของน้ำหนักที่สูญหายไปต่อวันที่อุณหภูมิต่างกัน | | |
|----------------------------|---|-------------|-------------|
| | 30 °ซ | 40 °ซ | 55 °ซ |
| ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0.13 | 0.18 | 0.20 |
| ดินจากการเผาขยะ | 0.14 | 0.21 | 0.28 |
| ปุ๋ยคอก | 0.15 | 0.22 | 0.28 |
| ดินปลูก | 0.11 | 0.16 | 0.20 |
| กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย | 0.28 | 0.32 | 0.34 |

ร้อยละของน้ำหนักรั่วซึมที่สูญเสียน้ำไปต่อวัน(กรัมต่อกรัม)



รูปที่ 17 อัตราการสูญน้ำ (ร้อยละของน้ำหนักรั่วซึมที่สูญเสียน้ำไปต่อวัน) ของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน

30 องศาเซลเซียส 40 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ลดลงของแผ่นฟิล์มเมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน แสดงผลดังตารางที่ 44 พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) มีค่าลดลง ซึ่งให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทำนองเดียวกันในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดโดยมีอัตราการลดลงที่แตกต่างกันตามชนิดของแหล่งจุลินทรีย์ และการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ลดลงมากขึ้นเช่นกัน ผลการย่อยสลายทางชีวภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเริ่มต้นที่ค่า Mw เท่ากับ 269,000 และ Mn เท่ากับ 171,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.57 ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงสุดโดยได้ค่า Mw เท่ากับ 64,000 และ Mn เท่ากับ 31,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 2.06 เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ รองลงมาคือแหล่งจุลินทรีย์ชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิ 40 °ซ โดยได้ค่า Mw เท่ากับ 92,000 และ Mn เท่ากับ 47,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.96 และแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นปุ๋ยคอกและดินปลูกเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ โดยได้ค่า Mw เท่ากับ 132,000 และ 149,000 และค่า Mn เท่ากับ 77,000 และ 75,000 และมีค่า PDI เท่ากับ 1.71 และ 1.99 ตามลำดับ

ตารางที่ 44 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | ระยะเวลาในการบ่ม (วัน) | น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงของ PHA เมื่อบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|------------------------|--|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|--------------------|--------------------|------|
| | | | 30 °ซ | | | 40 °ซ | | | 55 °ซ | | |
| | | | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI | Mw×10 ³ | Mn×10 ³ | PDI |
| P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 0 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 |
| | | 70 | - | - | - | 138 | 138 | 1.63 | 214 | 126 | 1.70 |
| | | 140 | 167 | 124 | 1.35 | - | - | - | 156 | 85 | 1.84 |
| | ดินจากการเผาขยะ | 0 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 |
| | | 70 | 146 | 117 | 1.25 | 133 | 97 | 1.38 | - | - | - |
| | | 140 | 134 | 105 | 1.28 | 119 | 98 | 1.21 | 111 | 83 | 1.35 |
| | ปุ๋ยคอก | 0 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 |
| | | 70 | 213 | 121 | 1.76 | 215 | 134 | 1.60 | 178 | 105 | 1.70 |
| | | 140 | - | - | - | 144 | 80 | 1.80 | 132 | 77 | 1.71 |
| | ดินปลูก | 0 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 |
| | | 70 | 234 | 120 | 1.95 | 214 | 127 | 1.69 | 171 | 88 | 1.95 |
| | | 140 | 208 | 113 | 1.86 | 192 | 105 | 1.83 | 149 | 75 | 1.99 |
| กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย | 0 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 | 269 | 171 | 1.57 | |
| | 70 | 228 | 139 | 1.64 | 154 | 96 | 1.60 | 128 | 75 | 1.71 | |
| | 140 | - | - | - | 92 | 47 | 1.96 | 64 | 31 | 2.06 | |

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าเมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 140 วัน มีการเปลี่ยนแปลงของค่า T_m และ Δh_f แตกต่างกัน ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงแสดงดังตารางที่ 45 โดยการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดทำให้ค่า T_m และ Δh_f เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการบ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลเป็นไปในทำนองเดียวกันทั้งหมด โดยในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียและปุ๋ยคอกมีค่า T_m และ Δh_f ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็นอันดับ 1 และ 2 แสดงว่าผลจากการย่อยสลายในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 2 แหล่งเกิดได้ดีกว่าแหล่งจุลินทรีย์ชนิดอื่น

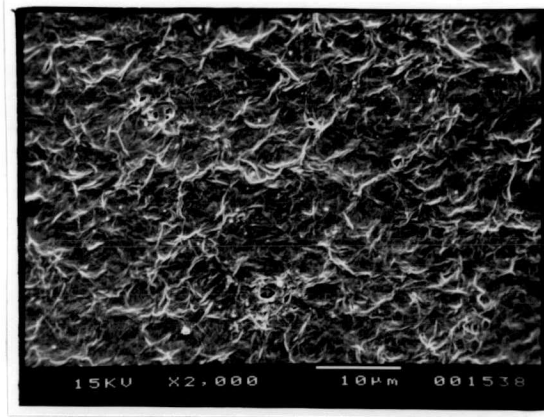
ตารางที่ 45 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด
เมื่อเริ่มที่อุณหภูมิต่างกันเป็นเวลา 140 วัน

| ชนิดของ PHA | แหล่งจุลินทรีย์ | การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของ PHA เมื่อเริ่มที่อุณหภูมิต่างกัน | | | | | |
|--|----------------------|---|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| | | 30 °ซ | | 40 °ซ | | 55 °ซ | |
| | | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) | Tm (°ซ) | Δh_f (จ/ก) |
| P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) Tm เริ่มต้นเท่ากับ 88.4 °ซ Δh_f เริ่มต้นเท่ากับ 42.18 จ/ก | ดินจากการย่อยสลายขยะ | 89.9 | 41.86 | 90.6 | 43.20 | 92.3 | 46.56 |
| | ดินจากการเผาขยะ | 86.3 | 39.92 | 90.0 | 46.14 | 94.8 | 52.41 |
| | ปุ๋ยคอก | 90.71 | 43.32 | 93.18 | 47.95 | 96.11 | 54.06 |
| | ดินปลูก | 88.50 | 40.69 | 90.35 | 44.35 | 92.4 | 48.72 |
| | กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย | 92.3 | 44.81 | 99.4 | 60.67 | 100.5 | 67.50 |

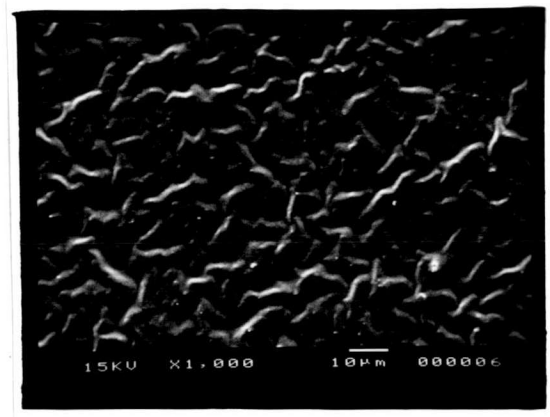
3.5 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวพอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพ

ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวพอลิเมอร์ดูได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งสังเกตเห็นลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มที่ถูกย่อยสลายเป็นสามมิติคือ เห็นได้ทั้งลักษณะที่ยุบตัวของแผ่นฟิล์ม หรือลักษณะของแผ่นฟิล์มที่นูนขึ้น หรือเห็นเป็นรูพรุนก็ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวพอลิเมอร์ที่สังเกตเห็นจะบอกถึงการยุบตัวของแผ่นฟิล์มที่เกิดจากการย่อยสลายได้ เมื่อนำแผ่นฟิล์ม PHA ทั้ง 4 ชนิดที่ผลิตได้จาก *Alcaligenes* sp. A-04 ที่ผ่านขั้นตอนการสกัดแยกและทำให้บริสุทธิ์แล้วมาส่องดูด้วยกล้อง SEM แสดงผลดังรูปที่ 18

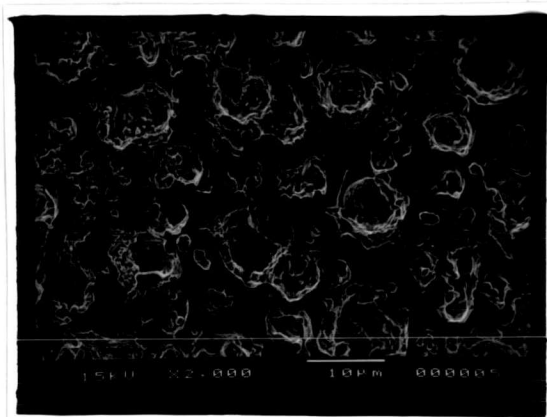
จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มของ P(3HB) มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหมือนของไหลอัดกันเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งแผ่นโดยไม่มีส่วนที่เป็นรูพรุน ลักษณะที่เห็นมีทั้งส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่เป็นเนื้อฟิล์ม แผ่นฟิล์มของ P(3HB-co-71%3HV) ที่เห็นจากภาพอิเล็กตรอนไมโครกราฟมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่มีรูพรุน แต่พื้นผิวของแผ่นฟิล์มไม่เรียบสม่ำเสมอโดยมีทั้งส่วนที่นูนขึ้นมาและส่วนที่ยุบลงไป ส่วนแผ่นฟิล์มของ P(3HB-co-23%4HB) ที่เห็นจากรูปประกอบด้วยลักษณะที่ต่างกัน 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อฟิล์มเรียบและส่วนที่ไม่เรียบโดยมีลักษณะเป็นก้อนกระจายผสมอยู่ทั่วไปในเนื้อฟิล์ม แผ่นฟิล์มของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) เป็นแผ่นฟิล์มที่มีความเรียบมากสม่ำเสมอทั่วแผ่น



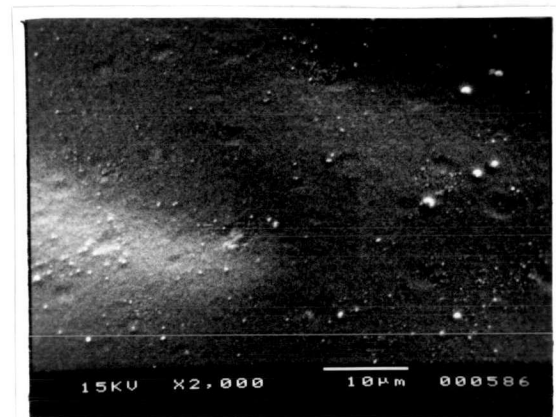
ก) P(3HB)



ข) P(3HB-co-71%3HV)



ค) P(3HB-co-23%4HB)



ง) P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB)

รูปที่ 18 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม PHA ทั้ง 4 ชนิดที่ผลิตโดย *Alcaligenes* sp. A-04

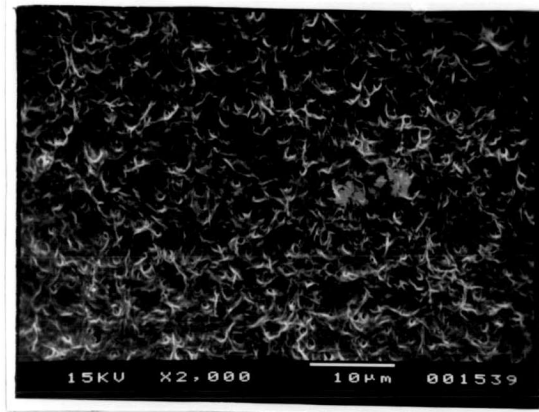
ลักษณะของแผ่นฟิล์ม PHA ทั้ง 4 ชนิดภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวของพอลิเมอร์แตกต่างกันตามชนิดและอุณหภูมิที่บ่ม โดยจากรูปที่ 19 พบว่าแผ่นฟิล์ม P(3HB) มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคือแผ่นฟิล์มบวมขึ้นและมีส่วนที่เป็นรูเกิดขึ้นทั่วไปในเนื้อฟิล์มซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้มีการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม โดยลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ถูกย่อยสลายเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เห็นการย่อยเกิดขึ้นมากกว่าเมื่อทำการบ่มที่อุณหภูมิ 40 และ 30 °ซ ตามลำดับ

รูปที่ 20 แสดงผลการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) พบว่าเมื่อทำการบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน แผ่นฟิล์มของ P(3HB-co-71%3HV) มีลักษณะที่บวมขึ้นและมีความขรุขระมากขึ้น โดยมีส่วนที่นูนขึ้นมาและส่วนที่ยุบลงไปกระจายอยู่ทั่วไปทั้งแผ่นโดยไม่มีการย่อยจนเห็นเป็นรู

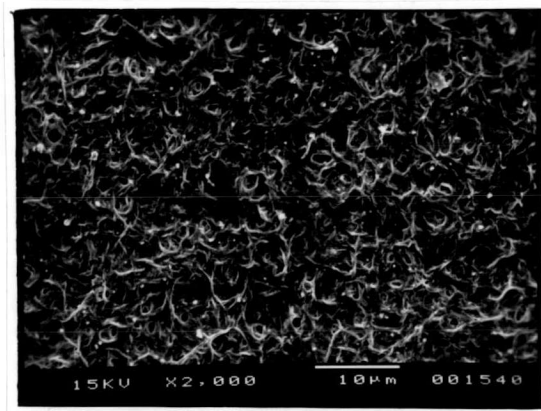
และจากรูปที่ 21 ซึ่งแสดงผลการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) พบว่าแผ่นฟิล์มมีลักษณะบวมขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อจับดูมีลักษณะเปื่อยยุ่ย ภาพจาก SEM เห็นเหมือนเป็นของไหลที่มีส่วนผสมของส่วนที่เป็นเนื้อฟิล์มและส่วนที่เป็นก้อนปนกันอยู่และมีรูพรุนเกิดขึ้นเป็นบางส่วน

รูปที่ 22 แสดงผลการย่อยสลายของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) โดยพบว่าแผ่นฟิล์มมีลักษณะบวมขึ้นและมีการยุบเล็กน้อย เมื่อนำไปดูภายใต้กล้อง SEM ที่ความร้อนสูง แผ่นฟิล์มไม่สามารถทนความร้อนได้ทำให้มีการพองตัวและเกิดการไหม้เห็นเป็นสีดำ ลักษณะของแผ่นฟิล์มมีความขรุขระมากขึ้น

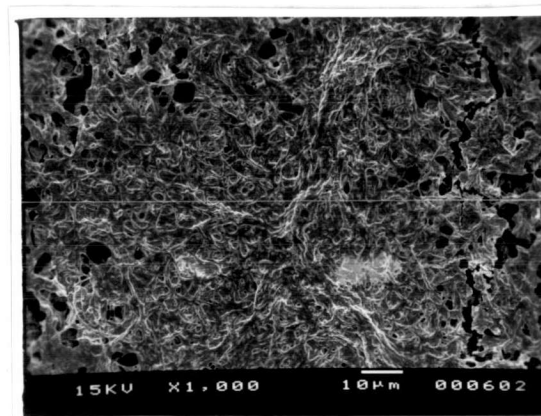
ก)



ข)

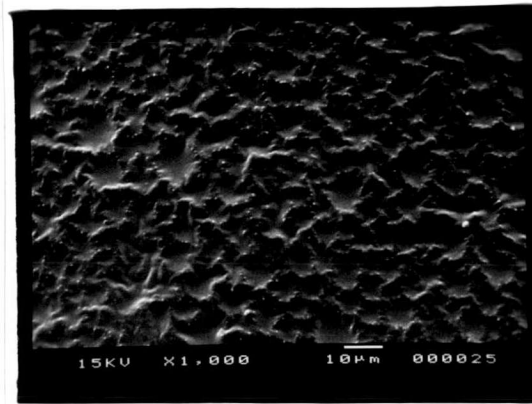


ค)

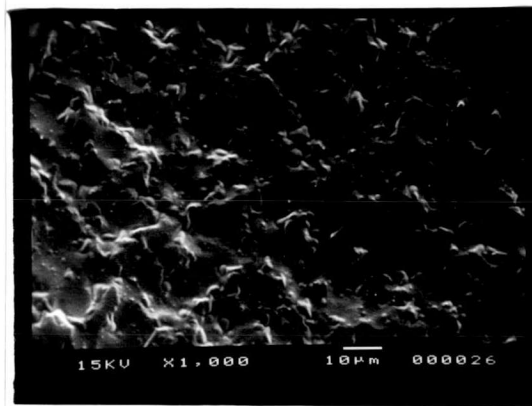


รูปที่ 19 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ

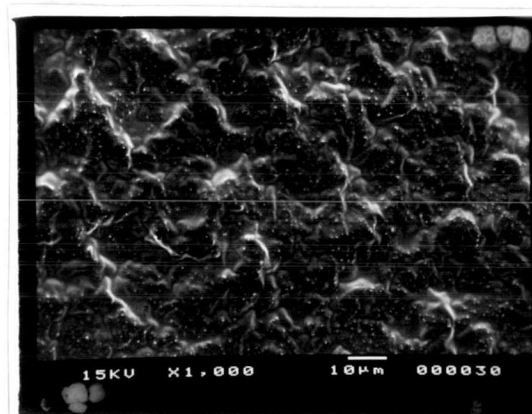
ก)



ข)

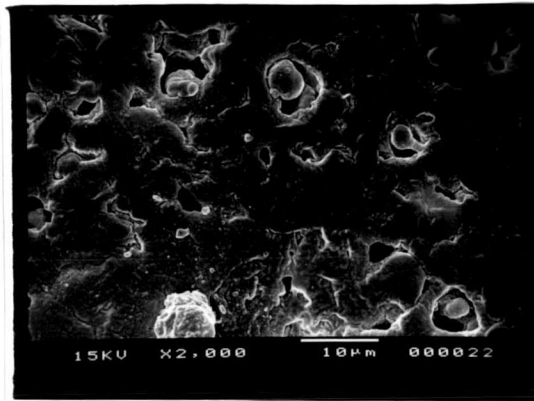


ค)

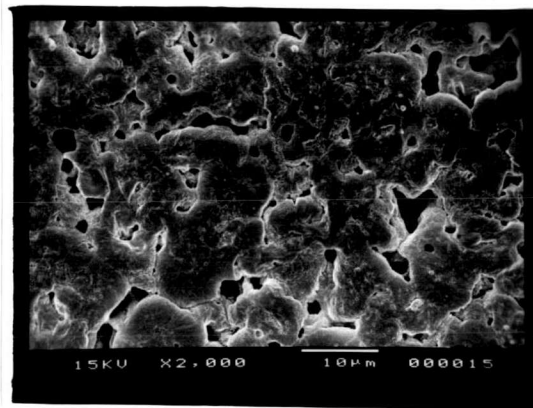


รูปที่ 20 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ

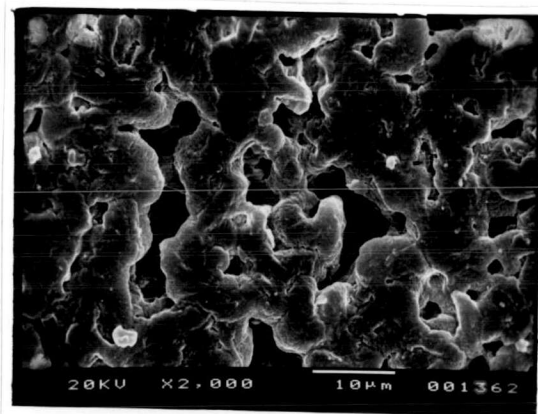
ก)



ข)

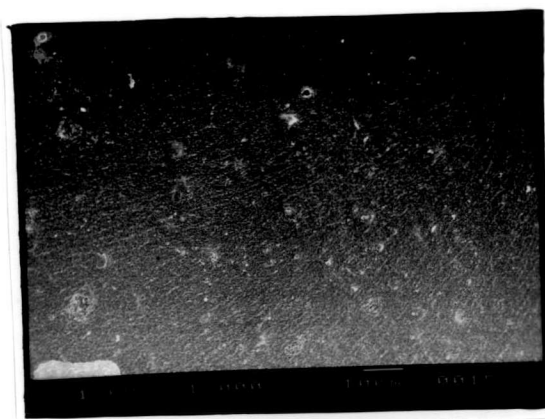


ค)

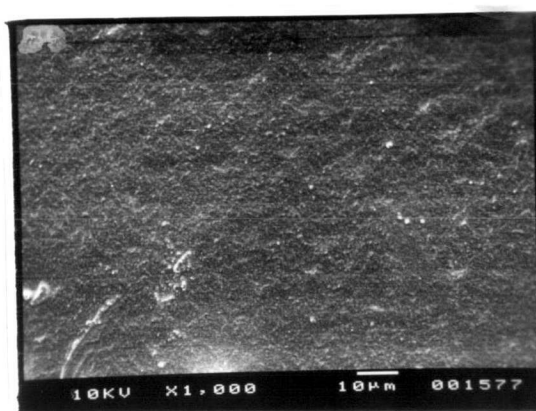


รูปที่ 21 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ

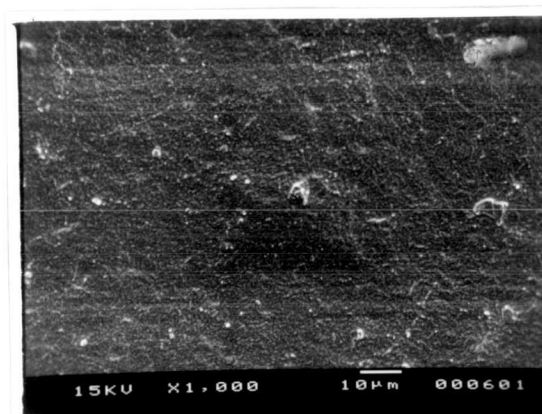
ก)



ข)



ค)



รูปที่ 22 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากย่อยสลายทางชีวภาพในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ปลอดเชื้อความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ พีเอช 7.4 เมื่อบ่มเป็นระยะเวลา 140 วัน ที่อุณหภูมิ ก) 30 ข) 40 และ ค) 55 °ซ

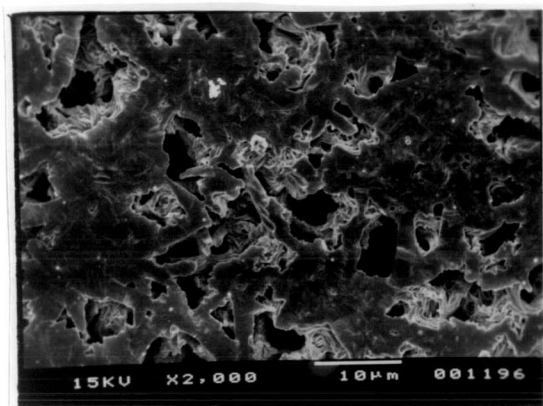
แผ่นฟิล์ม PHA ที่ผลิตได้ทั้ง 4 ชนิดมีลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไปภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน โดยสามารถเห็นลักษณะการผุพังของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์แตกต่างกันไปตามชนิดของพอลิเมอร์ แหล่งจุลินทรีย์ และอุณหภูมิที่บ่ม

โดยแผ่นฟิล์ม P(3HB) ภายหลังการย่อยสลายในแหล่งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่อุณหภูมิ 30 40 และ 55 °ซ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 23 พบว่ามีการผุพังของแผ่นฟิล์มอย่างชัดเจน อัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม P(3HB) เกิดได้ดีที่สุดเมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย รองลงมาคือดินจากการเผาขยะ ดินจากการย่อยสลายขยะ ดินปลูก และปุ๋ยคอกตามลำดับ

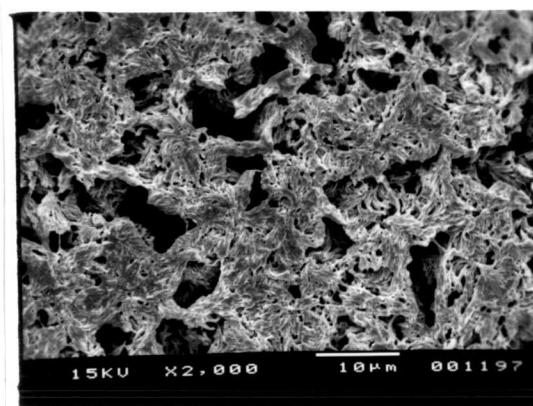
การย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด พบว่า ในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมีอัตราการผุพังของแผ่นฟิล์มเกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือปุ๋ยคอก ดินปลูก ดินจากการย่อยสลายขยะ และดินจากการเผาขยะตามลำดับ ลักษณะการผุพังของแผ่นฟิล์มแสดงดังรูปที่ 24

P(3HB-co-23%4HB) ฟิล์ม ภายหลังการย่อยสลายทางชีวภาพเมื่อบ่มในแหล่งจุลินทรีย์และอุณหภูมิต่างกัน พบว่า แผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ถูกย่อยสลายได้ดีในดินทุกชนิดและอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่อบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยการผุพังของแผ่นฟิล์มที่เห็นจากกล้อง SEM แสดงดังรูปที่ 25 พบว่าการผุพังของแผ่นฟิล์มในแหล่งจุลินทรีย์ที่เป็นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเกิดขึ้นดีที่สุด รองลงมาคือดินจากการเผาขยะ ดินจากการย่อยสลายขยะ ปุ๋ยคอก และดินปลูกตามลำดับ

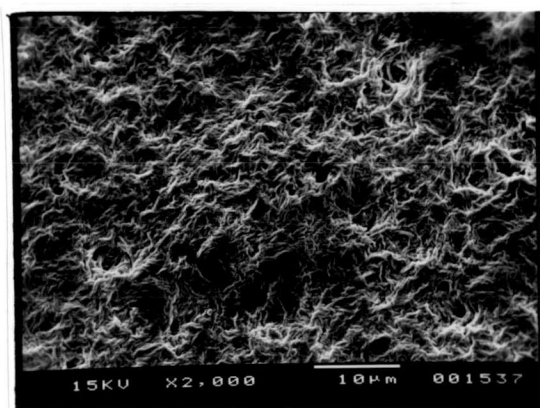
การย่อยสลายทางชีวภาพโดยปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ของ P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิดที่อุณหภูมิต่างกัน แสดงดังรูปที่ 26 พบว่าอัตราการผุพังของแผ่นฟิล์ม เมื่อบ่มในกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเกิดได้ดีที่สุด ส่วนการผุพังของแผ่นฟิล์มในแหล่งจุลินทรีย์อีก 4 ชนิดเกิดขึ้นใกล้เคียงกัน โดยการบ่มที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การผุพังของแผ่นฟิล์มเห็นได้ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการเจริญของจุลินทรีย์อยู่ในเนื้อฟิล์มเมื่อบ่มในดินจากการเผาขยะและปุ๋ยคอก



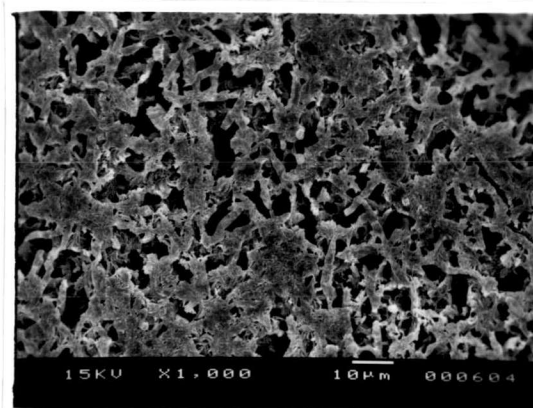
ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ



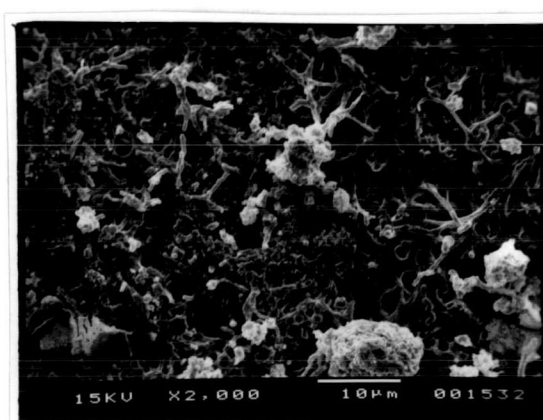
ข) ดินจากการเผาขยะ



ค) ปุ๋ยคอก

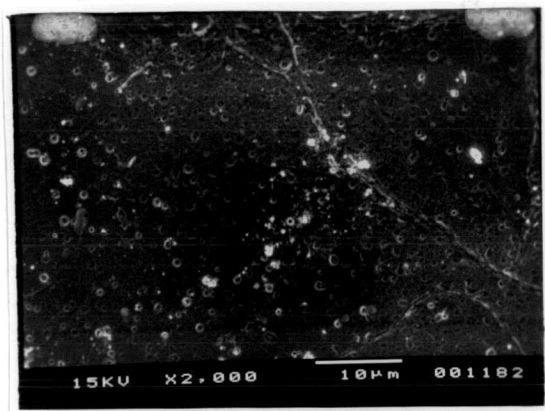


ง) ดินปลูก

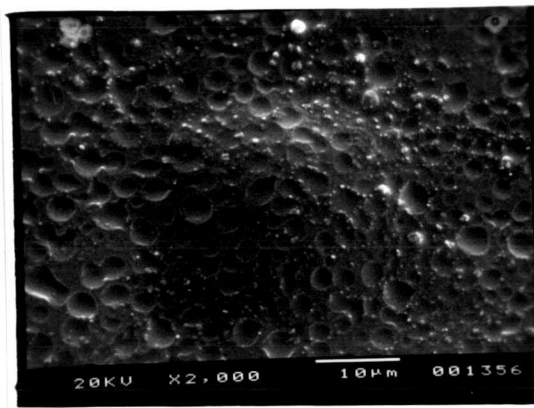


จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

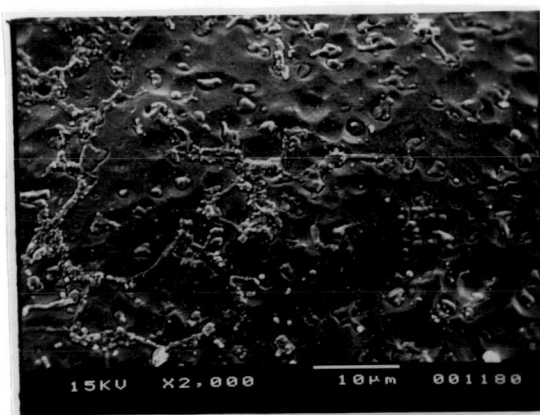
รูปที่ 23 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 140 วัน



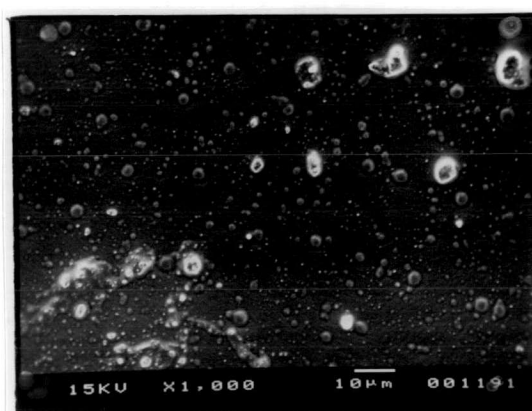
ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ



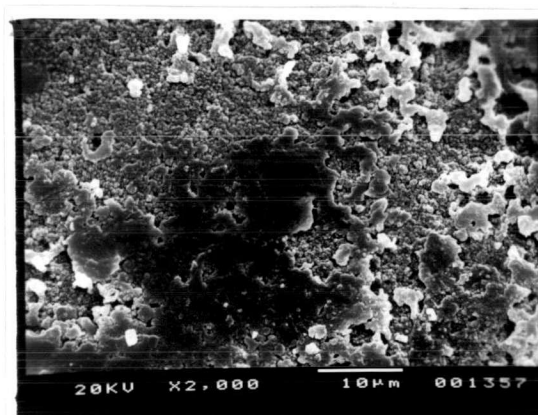
ข) ดินจากการเผาขยะ



ค) ปุ๋ยคอก

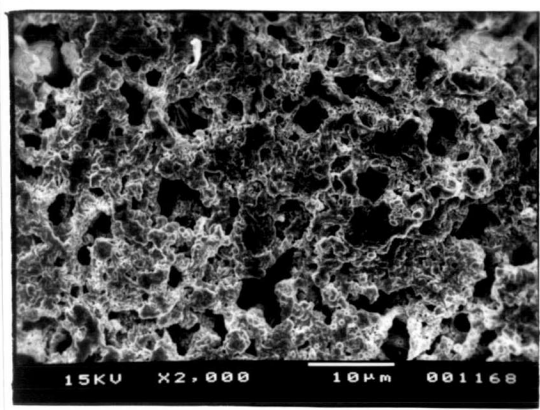


ง) ดินปลูก

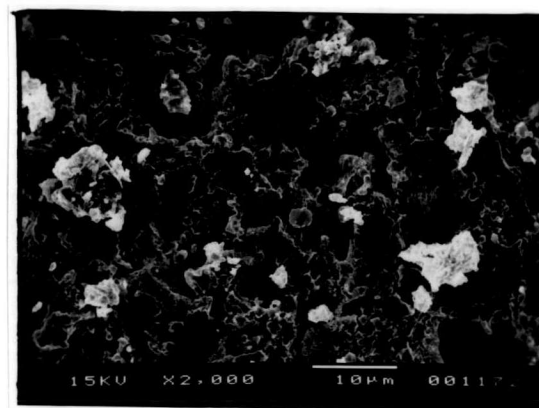


จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

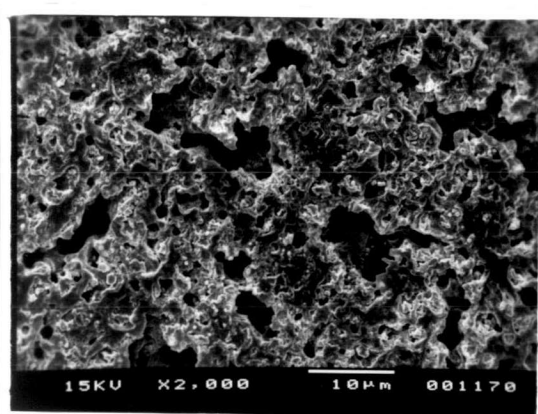
รูปที่ 24 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-71%3HV) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 40 °ซ เป็นเวลา 140 วัน



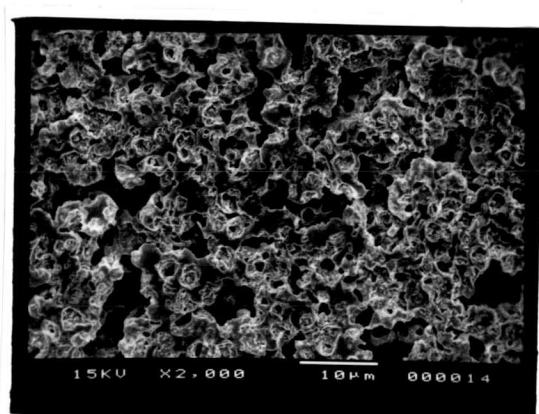
ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ



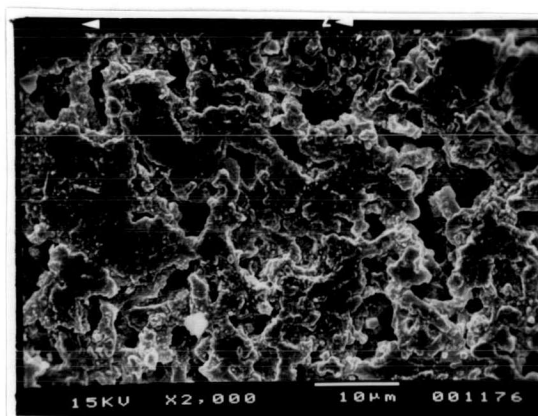
ข) ดินจากการเผาขยะ



ค) ปุยคอก

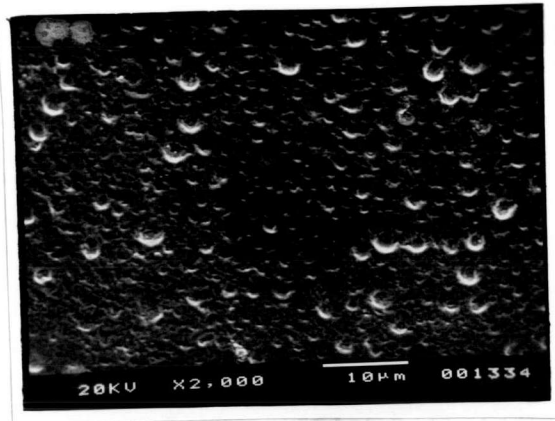


ง) ดินปลูก

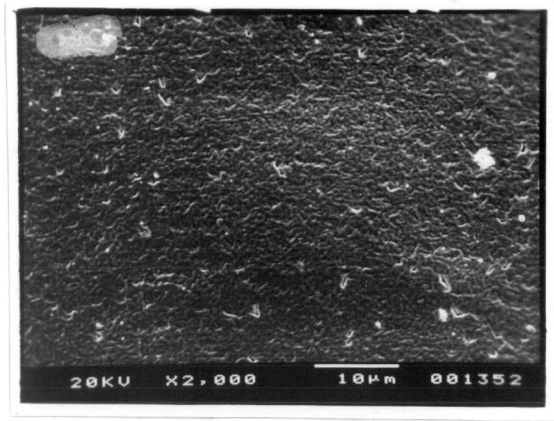


จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

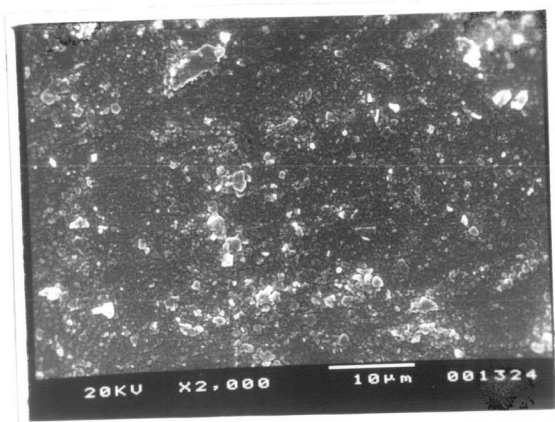
รูปที่ 25 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-23%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 140 วัน



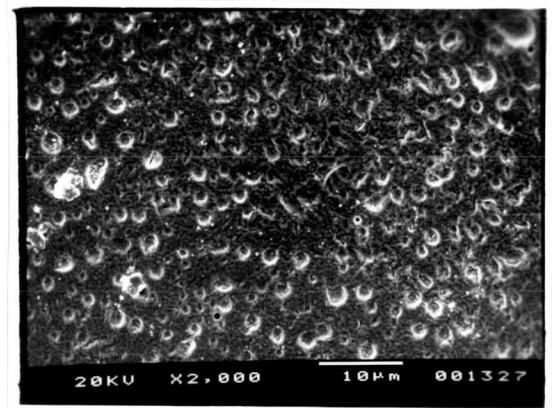
ก) ดินจากการย่อยสลายขยะ



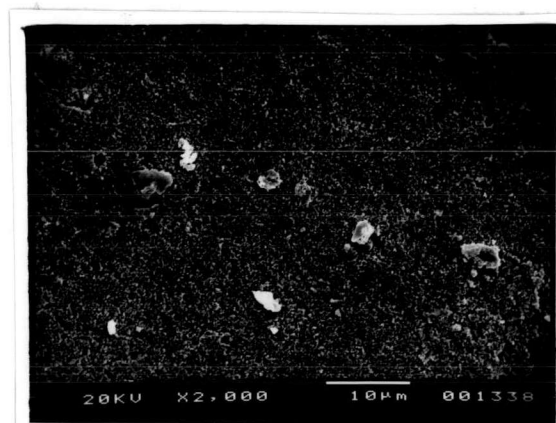
ข) ดินจากการเผาขยะ



ค) ปุ๋ยคอก



ง) ดินปลูก



จ) กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย

รูปที่ 26 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม P(3HB-co-44%3HV-co-39%4HB) ภายหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพในแหล่งจุลินทรีย์ต่างกัน 5 ชนิด เมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 55 °ซ เป็นเวลา 140 วัน