



โครงการวิจัยที่ ภ.51-05/ย.1/รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การวิจัยและพัฒนาวิธีการทดสอบ การสลายตัวของพลาสติกชีวภาพ ในสภาวะจำลองธรรมชาติของประเทศไทย



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ.51-05
พลาสติกชีวภาพเพื่ออุตสาหกรรมของไทย

โครงการย่อยที่ 1
การวิจัยและพัฒนาวิธีการทดสอบการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพ
ในสภาวะจำลองธรรมชาติของประเทศไทย

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)
การวิจัยและพัฒนาวิธีการทดสอบการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพ
ในสภาวะจำลองธรรมชาติของประเทศไทย

โดย

อัญชญา พัฒนสุพงษ์	วิภา หอมหวล
พัชรินทร์ เก่งกาจ	วีรเดช กิรติธนวิทย์
ไพศักรดี อนันต์นุกูล	สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์

บรรณาธิการ
ศิระ ศิลานนท์
บุญเรียม น้อยชุมแพ
สลิลดา พัฒนศิริ

วว., ปทุมธานี 2559
สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(นางลักขมีย์ ปลั่งแสงมาศ)

ผู้ว่าการ

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	จ
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	3
1. บทนำ	5
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	9
3. ผลการทดลองและวิจารณ์	16
4. สรุปผลการทดลอง	56
5. ผลการศึกษาเบื้องต้นทางการตลาดและผลกระทบของโครงการ	57
6. ข้อเสนอแนะ	58
7. เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	62

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. แหล่งเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลในเขตพื้นที่ 6 จังหวัด	10
ตารางที่ 2. องค์ประกอบของแต่ละตัวอย่างทดสอบ	11
ตารางที่ 3. สมบัติของดินและปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลาย	16
ตารางที่ 4. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดเชียงใหม่ ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	21
ตารางที่ 5. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดขอนแก่น ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	22
ตารางที่ 6. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดชลบุรี ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	22
ตารางที่ 7. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดนครปฐม ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	23
ตารางที่ 8. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดพิษณุโลก (อำเภอบางระกำ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	23
ตารางที่ 9. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดพิษณุโลก (อำเภอเมือง) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	24
ตารางที่ 10. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดสงขลา (อำเภอเมือง) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	24
ตารางที่ 11. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	25

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 12. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินรวมทุกจังหวัด ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน	25
ตารางที่ 13. สมบัติและปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างดิน หลังการฝังกลบเป็นเวลา 18 เดือน	33
ตารางที่ 14. กลุ่มจุลินทรีย์ที่จำแนกตามสภาวะการบ่ม จากตัวอย่างดินจังหวัดขอนแก่น หลังฝังกลบเป็นเวลา 18 เดือน	35
ตารางที่ 15. กลุ่มจุลินทรีย์ที่จำแนกตามสภาวะการบ่มจากตัวอย่างดิน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก หลังฝังกลบเป็นเวลา 18 เดือน	36
ตารางที่ 16. ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในวัสดุฝังกลบระยะการทดสอบฝังกลบแบบไร้ออกซิเจน	37
ตารางที่ 17. ค่าความเป็นกรด-เบสของวัสดุฝังกลบที่ระยะเวลาและตัวอย่างทดสอบต่างๆ	38
ตารางที่ 18. ความชื้นของวัสดุฝังกลบที่ระยะเวลาและตัวอย่างทดสอบต่างๆ	38
ตารางที่ 19. น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบในวัสดุฝังกลบที่ระยะเวลาต่างๆ	39
ตารางที่ 20. สมบัติความทนแรงดึงของตัวอย่างทดสอบในวัสดุฝังกลบที่ระยะเวลา 60 วัน	41
ตารางที่ 21. ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของตัวอย่างทดสอบหลังฝังกลบ	43
ตารางที่ 22. สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการตรวจสอบการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพในเบื้องต้นโดยตรวจวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระดับห้องปฏิบัติการในสภาวะควบคุม	45
ตารางที่ 23. ร้อยละปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในตัวอย่างพลาสติกทดสอบ เทียบกับชุดควบคุม (Control) ชุดควบคุมเชิงบวก (R+) และชุดควบคุมเชิงลบ (R-)	46
ตารางที่ 24. รายละเอียดตัวอย่างทดสอบและดำห้รับการทดสอบในการทดสอบ	47
ตารางที่ 25. ความเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นต่อพืช และสัตว์ ของตัวอย่างพลาสติกทดสอบหลังฝังกลบ	52
ตารางที่ 26. ตัวอย่างสถานะที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพตามมาตรฐานสากล	55

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. การทดลองฝึงคลบในแปลง	12
รูปที่ 2. การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบหลังการฝึงคลบ 2 เดือน	18
รูปที่ 3. การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบหลังการฝึงคลบ 12 เดือน	19
รูปที่ 4. การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบหลังการฝึงคลบ 18 เดือน	20
รูปที่ 5. การสลายตัวสะสมของตัวอย่างทดสอบหลังฝึงคลบที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร	26
รูปที่ 6. การสลายตัวสะสมของตัวอย่างทดสอบหลังฝึงคลบที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร	27
รูปที่ 7. การสลายตัวสะสมของตัวอย่างทดสอบหลังฝึงคลบที่ระดับความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร	28
รูปที่ 8. ร้อยละของน้ำหนักร้อยตัวอย่างพลาสติกทดสอบ TS5, TS6, TS11 และ TS15 หลังฝึงคลบที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร	29
รูปที่ 9. ร้อยละของน้ำหนักร้อยตัวอย่างพลาสติกทดสอบ TS5, TS6, TS11 และ TS15 หลังฝึงคลบที่ระดับความลึก 16-30 เซนติเมตร	30
รูปที่ 10. ร้อยละของน้ำหนักร้อยตัวอย่างพลาสติกทดสอบ TS5, TS6, TS11 และ TS15 หลังฝึงคลบที่ระดับความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร	31
รูปที่ 11. การงอกของเมล็ด อายุได้ 5 วัน	49
รูปที่ 12. ต้นผักกาดเขียววางตั้งที่งอก (A) อายุ 2 วัน และ (B) อายุ 4 วัน	49
รูปที่ 13. การตายของต้นกล้า (A) เมล็ดที่กำลังงอก และ (B) ต้นกล้าที่เริ่มตาย	49
รูปที่ 14. ต้นผักกาดเขียววางตั้งที่อายุได้ 20 วัน	50
รูปที่ 15. ต้นกล้าที่ตายภายหลังจากที่เมล็ดงอกและอาการผิดปกติของต้นกล้า (Chlorosis)	50
รูปที่ 16. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝึงคลบขยะของเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น	62
รูปที่ 17. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝึงคลบขยะของเทศบาลเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี	62

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 18. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม	62
รูปที่ 19. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของตำบลแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	63
รูปที่ 20. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	63
รูปที่ 21. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา	63
รูปที่ 22. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาล อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก	64
รูปที่ 23. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก	64

RESEARCH AND DEVELOPMENT ON BIODEGRADABILITY OF BIODEGRADABLE PLASTIC IN NATURAL-SIMULATION CONDITIONS OF THAILAND

Anchana Pattanasupong Wipa Homhaul Patcharin Kengkarj,
Weeradech Kiratitavit, Phaisak Anannukul
and Suparp Artjariyasripong

ABSTRACT

Soil microorganisms was used to examine biodegradation efficiency of 14 bioplastic or biodegradable plastic samples from 5 manufacturing companies in Thailand. Soils collected from land-fill areas in 6 provinces representing each region including Chiang Mai (North), Phitsanulok (lower North), Khon Kaen (Northeast, Nakhon Pathom (Central), Chonburi (East), and Songkhla (South) provinces were used to bury plastic samples in various depths for 18 months under natural conditions.

The results showed that 7-10 tested samples were completely degraded after burying in soils from Khon Kaen, Phitsanulok, and Songkla provinces at the depths of 5-40 cm. within 18 months. While no changes were found in commercial plastic, Polyethylene. The properties of soils in which degradation occurred well were pH values at 7-8, 1-5% of organic matter, nutrients contents (N, P, and K) between 0.1-1.0%, and microbes (fungi, yeast, and bacteria) 10^5 - 10^7 cfu/gm. Examining degradation of the tested samples in both sterilized and non-sterilized materials confirmed the biodegradation process. From determination at molecular biology level, the major microorganisms involving degradation were classified into *Bacillus* spp.

This results were correlated with laboratory testing of biodegradation in controlled conditions which physical properties such as thickness, resistance to tension, and elasticity of the tested samples were altered. Additionally, changes in chemical structures of well-degraded bioplastic products were also found.

The results from biodegradation tests of bioplastic products and materials from research projects in compost compared to positive and negative references by determining degradation activity in laboratory using modified Static Incubation-Titrimetric Determination suggested that basic method usable for examining and evaluating the rate of biodegradation of bioplastic products under natural conditions was appropriated to be used. Furthermore, the studies on primary testing of toxicity of residues after degradation on a tested animal, *Daphnia magna*, and a tested plant, *Brassica chinensis*, were also performed.

การวิจัยและพัฒนาวิธีการทดสอบการสลายตัวของพลาสติกชีวภาพ ในสภาวะจำลองธรรมชาติของประเทศไทย

อัษฎนา พัฒนสุพงษ์¹, วิภา หอมหวล², พัชรินทร์ เก่งกาจ³, วีระเดช กิริตธนวิทย์⁴,
ไพศัคดี อนันต์บุญกุล⁵ และ สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์⁶

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ และผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ประเภทพลาสติก 14 ตัวอย่างจากบริษัทผู้ผลิต 5 แห่ง ในประเทศไทย เทียบกับพลาสติกทางการค้าชนิด polyethylene โดยกลุ่มจุลินทรีย์ในตัวอย่างดินจากพื้นที่ 6 จังหวัด ที่เป็นตัวแทนแต่ละภูมิภาคของไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ (ภาคเหนือตอนบน), พิษณุโลก (ภาคเหนือตอนล่าง), ขอนแก่น (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ), นครปฐม (ภาคกลาง), ชลบุรี (ภาคตะวันออก) และสงขลา (ภาคใต้) โดยการฝังกลบตัวอย่างพลาสติกทดสอบในดินที่ความลึกระดับต่างๆ ระดับแปลงทดลองในสภาวะธรรมชาติ พบว่า ตัวอย่างทดสอบจำนวน 7-10 ตัวอย่าง สลายตัวได้อย่างสมบูรณ์ หลังฝังกลบในตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่น พิษณุโลก และสงขลา ที่ระดับความลึก 5-40 เซนติเมตร ภายในเวลา 18 เดือน ในขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของพลาสติกชนิด polyethylene. ทั้งนี้สมบัติของดินที่เหมาะสมต่อการสลายตัวของตัวอย่างทดสอบ คือ ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) 7-8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 1-5 ปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ร้อยละ 0.1-1.0 และปริมาณจุลินทรีย์ (รา, ยีสต์ และแบคทีเรีย) 10^5 - 10^7 โคโลนีต่อกรัม จากการศึกษา

¹ ภาควิทยาศาสตร์ชีวภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

² ภาควิชา วิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยนเรศวร

³ ฝ่ายเทคโนโลยีการเกษตร, วว.

⁴ ฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ, วว.

⁵ ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย, วว.

⁶ ภาควิทยาศาสตร์ชีวภาพ, วว.

การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบในวัสดุที่ผ่านการฆ่าเชื้อ และไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อสามารถยืนยันถึงกระบวนการสลายตัวได้ทางชีวภาพ ทั้งนี้จากการตรวจสอบในระดับชีววิทยาโมเลกุล พบว่า จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่มีบทบาทในการย่อยสลายจัดอยู่ในกลุ่ม *Bacillus* spp. ผลการทดสอบในสภาวะธรรมชาติยังสอดคล้องกับผลการฝังกลบตัวอย่างพลาสติกในระดับห้องปฏิบัติการภายใต้สภาวะควบคุมของสมบัติทางกายภาพทางด้านความหนา, การทนแรงดึง และความยืดตัวของตัวอย่างทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไป. นอกจากนี้ ยังพบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีในบางตำแหน่งของตัวอย่างทดสอบที่สลายตัวได้.

จากผลการศึกษาการย่อยสลายตัวอย่างทดสอบพลาสติกชีวภาพและวัสดุพลาสติกชีวภาพจากโครงการวิจัยในปทุมมาเทียบกับตัวควบคุมเชิงบวกและตัวควบคุมเชิงลบ โดยการตรวจวัดกิจกรรมการย่อยสลายในระดับห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธี Static Incubation-Titrimetric Determination พบว่า เป็นวิธีการเบื้องต้นในการตรวจสอบและประเมินอัตราเร็วในการสลายตัวของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพหลังการใช้งานในสภาวะธรรมชาติได้. นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาวิธีการเบื้องต้นสำหรับทดสอบค่าความเป็นพิษของสารตกค้างหลังกระบวนการย่อยสลายที่มีต่อสัตว์ทดสอบ คือ *Daphnia magna* และพืชทดสอบ คือ *Brassica chinensis* ด้วย.

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

จากการที่พลาสติกสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายหลายชนิด ดังนั้น จึงมีอัตราการผลิตและการใช้พลาสติกสูงขึ้น, ปริมาณขยะพลาสติกจึงมากขึ้นตาม. แต่การกำจัดนั้นทำได้ยากเนื่องจากพลาสติกสลายตัวได้ช้ามาก. ประเทศไทยมีปริมาณขยะประเภทพลาสติกและโฟมสูงกว่าปีละ 2.3 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ 2548), ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานหลายร้อยปี. หากนำมาเผาทำลายจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกจนนำไปสู่ภาวะโลกร้อน ซึ่งขณะนี้ทั่วโลกกำลังเผชิญปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงขึ้น. จากปริมาณการใช้พลาสติกที่คาดว่าจะสูงขึ้นในอนาคต ทำให้ผู้คนทั่วโลกต่างตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน. วิธีการกำจัดขยะพลาสติกส่วนใหญ่ คือ การพยายามนำกลับไปใช้ใหม่, การเผาทิ้งและการฝังกลบ. แต่มีข้อจำกัดคือ พื้นที่ในการฝังกลบนับวันจะยิ่งหายากมากขึ้น. ส่วนการนำของเสียพลาสติกไปใช้ใหม่ยังมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น ต้นทุนในการนำพลาสติกกลับไปใช้ใหม่มีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่าการผลิตชิ้นใหม่, ในขณะที่คุณภาพที่ได้อาจด้อยกว่า. นอกจากนี้ การทำลายโดยการเผาทิ้งหรือเผาให้พลังงาน ทำให้อากาศเป็นพิษ, ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางดิน, น้ำ และอากาศ. อย่างไรก็ตาม แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, ซึ่งต้องพิจารณาความเหมาะสมในการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ด้วย. อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการใช้งานบรรจุภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบและเป็นปริมาณมาก และยังเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้งานในช่วงเวลาสั้น, แต่ปริมาณการใช้งานค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ, จึงมีโอกาที่จะสร้างภาระในการจัดการได้มาก. โดยระยะเวลาในการย่อยสลายนั้น จะแตกต่างกันไป ซึ่งนอกจากจะขึ้นกับสภาพของสิ่งแวดล้อมแล้ว, ยังขึ้นกับวัตถุดิบในการผลิต, ขนาดของผลิตภัณฑ์ และลักษณะการนำไปใช้งานอีกด้วย. ดังนั้น ถ้ามีการนำผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเหล่านี้มาใช้ประโยชน์, แต่มีขั้นตอนการจัดการหลังการใช้งานที่ไม่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอาจยังคงสภาพเป็นขยะพลาสติกที่ไม่ต่างจากผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้กันโดยทั่วไป. ดังนั้น หากมีกระบวนการหรือวิธีการจัดการกับผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพหลังการใช้งานที่เหมาะสม, โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์และไม่เหลือสิ่งตกค้างที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม, จะเป็นการเพิ่มคุณค่าของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมากขึ้น. โดยทั่วไปการทดสอบการสลายตัวทางชีวภาพของพลาสติก อาจทำได้ทั้งการทดสอบภาคสนามและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.

อย่างไรก็ตาม การที่จะได้มาซึ่งห้องปฏิบัติการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ต้องใช้ระยะเวลาพอสมควรในการเตรียมความพร้อมทั้งด้านเงินลงทุน, สถานที่, อุปกรณ์เครื่องมือ, เทคโนโลยี, บุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ, ตลอดจนการสนับสนุนอย่างจริงจังและต่อเนื่องจากหน่วยงานภาครัฐ. ดังนั้น การพัฒนาวิธีการทดสอบสมบัติการย่อยสลายได้ทางชีวภาพในเบื้องต้นนี้ จึงเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับงานวิจัยและผู้ประกอบการด้าน

ผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ, รวมไปถึงการได้มาซึ่งข้อมูลพื้นฐานในการจัดตั้งห้องปฏิบัติการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพที่ได้มาตรฐานต่อไป.

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- ศึกษาความหลากหลายของชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มดิน จากธรรมชาติที่มีความสามารถในการย่อยสลายพลาสติก.
- ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของขยะพลาสติกและพลาสติกชีวภาพ ก่อนและหลังการทดสอบสมบัติการถูกย่อยสลายในภาวะธรรมชาติจำลองในระดับห้องปฏิบัติการ.
- การบริการทดสอบสมบัติของพลาสติกย่อยสลายได้ในเบื้องต้น.

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- วิจัยและพัฒนากระบวนการตรวจสอบการสลายตัวของผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพในแปลงทดลองและในห้องปฏิบัติการ.
- ทดสอบสมบัติทางกายภาพ, ทางเคมี และค่าความเป็นพิษตกค้างของผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพหลังการสลายตัว.

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

- ศึกษาองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดินจากธรรมชาติและปุ๋ยหมัก .
- ทดสอบการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังกลบในสภาวะธรรมชาติ.
- ศึกษาการย่อยสลายตัวอย่างทดสอบพลาสติกชีวภาพและ/หรือวัสดุพลาสติกชีวภาพจากโครงการวิจัยในตัวอย่างดินจากธรรมชาติและปุ๋ยหมักโดยการตรวจวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์.
- ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างทดสอบพลาสติกชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการย่อยสลาย.
- ทดสอบค่าความเป็นพิษหรือสารตกค้างหลังกระบวนการย่อยสลาย.

1.5 ทฤษฎี/แนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

การค้นคว้าและวิจัยทางด้านการสลายตัวของพลาสติกในระบบชีวภาพ (biodegradation) ได้มีการศึกษากันมายาวนาน เพื่อนำไปใช้ในประโยชน์ในหลายด้านโดยเฉพาะทางการแพทย์และทางการเกษตร. โดยทางด้านการแพทย์ได้มีการพัฒนาพอลิเมอร์มาใช้เป็นด้ายสำหรับเย็บแผลที่อยู่ในร่างกาย ซึ่งจะสลายตัวเองหลังจากแผลหายดีแล้ว และพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นตัวขนส่งไปยังจุดที่ต้องการในร่างกาย. ส่วนทางด้านการเกษตรได้มีการพัฒนาพอลิเมอร์เพื่อใช้เป็นพลาสติกคลุมพืชเพื่อป้องกันแสงอาทิตย์และควบคุมความชื้น ซึ่งจะสลายตัวเองลงหลังจากการใช้งานและพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นตัวปลดปล่อยสารฆ่าแมลง ซึ่งสามารถที่จะควบคุมอัตราการปล่อยสารได้ (โดยการควบคุมอัตราการสลายตัวของพอลิเมอร์).

ปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ได้แก่ น้ำ, อุณหภูมิ, ค่าระดับความเป็นกรดเบส และก๊าซออกซิเจน. จากปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ น้ำจัดว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการที่จะระบุว่าพอลิเมอร์ชนิดใดจะถูกสลายตัวได้ด้วยจุลินทรีย์, เนื่องจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้ทำเป็นบรรจุภัณฑ์โดยมากจะไม่สามารถถูกน้ำแทรกซึมได้. พอลิเมอร์เหล่านั้น ได้แก่ พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน และพอลิสไตรีน เป็นต้น. ทั้งนี้ จะสังเกตได้ว่า โมเลกุลของพลาสติกเหล่านี้เป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว. ดังนั้นพลาสติกที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คือ พลาสติกประเภทที่เป็นโมเลกุลมีขั้วซึ่งสามารถเกิดการสลายตัวด้วยน้ำ (hydrolysis) ได้, เช่น พลาสติกพวกพอลิเอไมด์ (polyamide), พอลิเอสเทอร์ (polyester) และพอลิยูรีเทน (polyurethane) เป็นต้น.

อย่างไรก็ตาม พอลิเมอร์ที่สลายตัวด้วยน้ำได้ ไม่อาจถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ทั้งหมดเนื่องจากกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์อาศัยการทำงานของเอนไซม์เป็นสำคัญ. ดังนั้น พอลิเมอร์ที่เหมาะสม จึงต้องมีสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ได้. ปัจจัยที่ควรคำนึงในการคัดเลือกพลาสติกที่ถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์ มีดังต่อไปนี้.

(1) ระดับการย่อยสลายตัวโดยจุลินทรีย์จะลดลง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพลาสติกเพิ่มขึ้น. จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้โมเลกุลของพลาสติกเกิดการแตกตัวด้วยกระบวนการอื่นๆ ก่อน เช่น การแตกตัวด้วยแสงอาทิตย์ เป็นต้น. หลังจากนั้น จุลินทรีย์จึงจะสามารถย่อยสลายส่วนของโมเลกุลที่เล็กลงเหล่านี้เป็นอาหาร. เนื่องจาก มีพลาสติกบางประเภทที่โครงสร้างของโมเลกุลเอื้ออำนวยต่อการเกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบ (crystallization). การจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบนี้เอง ทำให้การแทรกซึมของเอนไซม์เป็นไปได้ยาก. ดังนั้น พลาสติกที่มีระดับของการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (crystallinity) น้อย จะถูกย่อยสลายตัวโดยจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่า.

(2) ถึงแม้ว่าทั้งการเชื่อมโยงเป็นเครือข่ายสามมิติ (cross-linking) และการเป็นสาขา (branching) จะทำให้ระดับการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบลดลง, แต่การเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่ายสามมิติ ยังมีข้อจำกัดต่อการแทรกซึมของเอนไซม์. นอกจากนี้ การเป็นสาขาทำให้ยากต่อการที่จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน.

(3) พลาสติกที่เหมาะสมจะต้องมีความอ่อนตัว (flexibility) ของโมเลกุลที่มากพอที่จะเอื้ออำนวยต่อการเกิดปฏิกิริยากับเอนไซม์ได้. ดังนั้น พลาสติกที่โมเลกุลประกอบไปด้วยคาร์บอนที่จัดเรียงตัวเป็นแบบเส้นตรง (aliphatic) จะถูกย่อยสลายได้ดีกว่าพลาสติกที่โมเลกุลประกอบไปด้วยหน่วยที่คล้ายโมเลกุลของเบนซีน (aromatic).

เนื่องด้วยสมบัติที่จำเป็นพื้นฐานดังที่กล่าวมาข้างต้นนี้ การพัฒนาให้ได้มาซึ่งพลาสติกที่ถูกย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์จึงเน้นหนักในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้.

- (1) การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ.
- (2) การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีอยู่.
- (3) การสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นมาใหม่.

ถึงแม้ว่าพอลิเมอร์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide), เจลาติน (gelatin) หรือเซลลูโลส (cellulose) สามารถที่จะถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์อยู่แล้วโดยธรรมชาติ, แต่เป็นการยากที่จะนำพอลิเมอร์เหล่านี้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง. ถ้าปราศจากกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น การผลิตแผ่นฟิล์มเซลลูโลสไนเตรต (cellulose nitrate) จากเซลลูโลส เป็นต้น. ส่วนพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน หรือพอลิสไตรีน, เป็นต้น มีลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์. การปรับปรุงพอลิเมอร์เหล่านี้ด้วยกระบวนการทางเคมีจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง, เช่น การใช้กรดอะคริลิก (acrylic acid) เป็นโคมอนอเมอร์ในการผลิตพอลิเอทิลีน ซึ่งหมู่ที่มีขั้วเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งที่เอื้ออำนวยต่อการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากจุลินทรีย์.

โครงการศึกษาวิจัยจำนวนมากที่พยายามสังเคราะห์พลาสติกชนิดใหม่ที่ถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ตลอดเวลา. ในกลุ่มพลาสติกสังเคราะห์เหล่านี้ พลาสติกจำพวกพอลิเอสเทอร์ที่โมเลกุลประกอบไปด้วยคาร์บอนที่จัดเรียงตัวเป็นเส้นตรง ได้แก่ กรดพอลิไกลโคลิก (polyglycolic acid, PGA) กรดพอลิแล็กติก (poly (L-lactic acid, PLLA) และพอลิแคปโพลแลคโตน (poly (-caprolactone), PCL) เป็นกลุ่มที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน. แต่เนื่องด้วยต้นทุนในการผลิตที่ยังสูงอยู่ ทำให้การใช้งานของพลาสติกเหล่านี้ยังถูกจำกัดอยู่เฉพาะในทางการแพทย์เป็นหลัก, เช่น การนำไปใช้เป็นด้ายสำหรับเย็บแผลภายในร่างกาย เป็นต้น. อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีการนำกากมันสำปะหลังจากโรงงานแปงมันมาผลิตเป็นกรดแล็กติก ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดพอลิแล็กติก ทำให้สามารถที่จะลดต้นทุนการผลิตลงไปได้ถึงร้อยละ 10. ดังนั้น การพัฒนาพอลิเมอร์ชนิดใหม่เพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมด้านอื่นๆ นอกเหนือจากทางการแพทย์ เช่น ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์, จึงมีความเป็นไปได้สูงมากทีเดียวในอนาคต.

จากทฤษฎีดังกล่าวข้างต้น กล่าวได้ว่า เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปัญหาการสะสมขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อมแล้ว, การเร่งกระบวนการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพโดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพยังมีความสำคัญยิ่ง. เนื่องจาก การทำงานของจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนสภาพของโครงสร้างทางกายภาพและโครงสร้างทางเคมีเป็นสารโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ หรืออินทรีย์วัตถุที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว, ยังเป็นประโยชน์ในด้านของการเป็นธาตุอาหารพืช หรือวัสดุปรับปรุงโครงสร้างของดินด้วย.

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุอุปกรณ์

2.1.1 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างดิน

- ถังซิบนขนาด 9 x13 นิ้ว.
- กระบอบกเก็บดิน (soil core).
- พลั่วและเสียม.

2.1.2 อุปกรณ์สำหรับงานทางจุลชีววิทยา ได้แก่

- โถเลี้ยงเชื้อสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic jar) ขนาด 2.5 และ 5 ลิตร.
- แผ่นสร้างสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (anaerocut) รุ่น Anaerocult[®] A (Mreck).
- ตู้บ่มเชื้ออุณหภูมิคงที่ 30±2 องศาเซลเซียส และ 37±2 องศาเซลเซียส.
- เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge): Tomy รุ่น MRX-150.
- ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar air flow): Faster รุ่น Bio 48.
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง: Sartorius รุ่น BA 310S.
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง: Sartorius รุ่น A 200S.
- เครื่องปั่น (Vortex mixer): Vision รุ่น KMC-1300V.
- เครื่องวัดความเป็นกรด-เบส (pH meter): Cyberscan รุ่น 10.
- กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereoscopic Microscope): Olympus รุ่น SZ51.
- กล้องจุลทรรศน์ (Microscope): Olympus รุ่น Cx 40.
- อื่นๆ เช่น งานเพาะเชื้อพลาสติก, ขวดรูปชมพู่, ปีกเกอร์, ตะเกียงแอลกอฮอล์ เป็นต้น.

2.1.3 อุปกรณ์สำหรับงานฝังกลบ ได้แก่

- ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร หรือ 6 นิ้ว.
- ถังตาข่ายในลอนสีฟ้า.
- อุปกรณ์เครื่องแก้วเพื่อการไทเทรต.

2.1.4 อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่

- เครื่อง Universal Testing Machine (Instron) รุ่น model 1123.
- เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer: FI-IR (Shimadzu) รุ่น

Prestige -21.

2.1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับทดสอบพิษทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่

- ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ และความเข้มแสง (Termaks) รุ่น KB8000FL.
- ชุดทดสอบ DAPHTOXKIT FTM MAGNA (Microbiotest Inc: Belgium).

2.1.6 อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมี

- อาหารสำเร็จรูป Nutrient Agar; NA (Merck ,Germany).
- อาหารสำเร็จรูป Nutrient Broth; NB (Merck, Germany).
- อาหารสำเร็จรูป Yeast Malt Agar; YM (Merck, Germany).
- อาหารสำเร็จรูป Yeast Malt Broth; YB (Merck, Germany).

- อาหารสำเร็จรูป Potato Dextrose Agar; PDA (Merck, Germany).
- แล็กโทเฟินอล (Merck, Germany).
- ชุดย้อมแกรม (Merck, Germany).
- พาราฟิล์มออย (Ajax, Australia).
- เอทิลแอลกอฮอล์ (กรมสรรพสามิต, ประเทศไทย).

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

2.2.1 การทดสอบการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังกลบในสภาวะธรรมชาติ

2.2.1.1 เก็บตัวอย่างดิน จำนวน 8 ตัวอย่าง ในเขตพื้นที่ 6 จังหวัด ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่, พิษณุโลก, ขอนแก่น, นครปฐม, ชลบุรี และสงขลา, ที่เป็นตัวแทนจากแต่ละภูมิภาค ดังแสดงในตารางที่ 1, เพื่อศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์จากแต่ละพื้นที่ในการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ.

ตารางที่ 1. แหล่งเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลในเขตพื้นที่ 6 จังหวัด

จังหวัด	ภาค
1. เชียงใหม่	เหนือ
2. พิษณุโลก (อำเภอบางระกำ)	เหนือ (ตอนล่าง)
3. พิษณุโลก (อำเภอเมือง)	เหนือ (ตอนล่าง)
4. ขอนแก่น	ตะวันออกเฉียงเหนือ
5. นครปฐม	กลาง
6. ชลบุรี	ตะวันออก
7. สงขลา (อำเภอเมือง)	ใต้
8. สงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	ใต้
9. รวมทุกจังหวัด	-

2.2.1.2 ตัวอย่างพลาสติกชีวภาพหรือพลาสติกย่อยสลายได้ที่ใช้ทดสอบจำนวน 14 ตัวอย่าง จากบริษัทผู้ผลิต 5 แห่ง ในประเทศไทยเทียบกับพลาสติกชนิด LDPE จากร้านค้าในจังหวัดพิษณุโลก (ตัวอย่างที่ 15). องค์ประกอบของแต่ละตัวอย่างทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. องค์ประกอบของแต่ละตัวอย่างทดสอบ

รหัสบริษัท	หมายเลขตัวอย่าง		องค์ประกอบ
	ทดสอบ	รูปแบบตัวอย่าง ทดสอบ	
A	1	ซ็อน	ไม่มีข้อมูล
	2	ถุงหิ้ว	10% LLDPE*
	3	ถุงหิ้ว	90% LLDPE
B	4	ถุง	Polyester, แป้ง และเม็ดสี
	5	ถุง	Polyester , แป้ง, เม็ดสี และ PLA
C	6	ถุง	แคลเซียม, แป้ง, PLA, Polyester
	7	ถุง	Ecoflex + starch + additive
D	8	ถุงหิ้ว	Ecoflex + starch + additive
	9	ถุง	Ecoflex + starch + additive + starch Materbatch
	10	แผ่นคู่สำหรับทำถุง	Ecoflex + calcium + additive
	11	แผ่นคู่สำหรับทำถุง	Ecoflex + starch + additive + PLA Materbatch
E	12	กล่องใส่อาหาร	ไม่มีข้อมูล (ซื้อจากงานแสดงสินค้า)
	13	ถาดหลุม	ไม่มีข้อมูล (ซื้อจากงานแสดงสินค้า)
	14	ถาดใส่อาหาร	ไม่มีข้อมูล (ซื้อจากงานแสดงสินค้า)
-	15	ถุงหิ้วทั่วไป	LDPE

หมายเหตุ: LLDPE* = linear-low density polyethylene

LDPE = low density polyethylene

2.2.1.3 ทำการฝังกลบพลาสติกทดสอบขนาด 1.0×1.0 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 2 ซ้ำ, จำนวน 15 ตัวอย่าง ที่ระดับความลึก 5-40 เซนติเมตร ในท่อ PVC ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร, ที่ปลายด้านหนึ่งปิดด้วยแผ่นพลาสติกอะคริลิก. จัดวางท่อไว้ในแนวตั้งบนพื้นดินภายใต้หลังคาพลาสติกใสสูง 150 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำฝนและรักษาความชื้นของดินไว้ที่ field capacity. ทำการทดลอง ณ แปลงวิจัยและฝึกงานคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก, เป็นระยะเวลา 18 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 1.



รูปที่ 1. การทดลองฝังกลบในแปลง.

2.2.1.4 ตรวจสอบการถุกย่อยสลายของตัวอย่างทดสอบ โดยการเก็บตัวอย่างพลาสติกที่ฝังอยู่ในดิน มาตรวจสอบหลังจากฝังกลบทุก 2 เดือน, โดยนำชิ้นตัวอย่างพลาสติกมาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อทำความสะอาดให้ปราศจากการปนเปื้อนของดิน, แล้วฝังให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง, ตรวจสอบการย่อยสลายตัวของพลาสติก, ทำการชั่งน้ำหนักของพลาสติกที่เหลืออยู่เป็นเวลา 18 เดือน. จากนั้น วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินและตรวจสอบชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์ในแต่ละชั้นดินที่เปลี่ยนแปลงไป.

2.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการย่อยสลายโดยการฝังกลบในระดับห้องปฏิบัติการ

ทำการฝังกลบตัวอย่างพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพตามขั้นตอนดังนี้:

2.2.2.1 การเตรียมดิน เตรียมตัวอย่างดินจากแหล่งที่มีกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูงให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 40-60.

2.2.2.2 เตรียมตัวอย่างพลาสติกทดสอบหมายเลข 3, 5, 7, 9, 11 และ 15 โดยการตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 2.5 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร ด้วยเครื่องชุดตัดตัวอย่าง.

2.2.2.3 ฝังกลบในตัวอย่างดินจากอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ดินรวมทุกจังหวัด หรือปุ๋ยหมักภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic condition) ในโถเลี้ยงเชื้อไม่ใช้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน.

2.2.2.4 ตรวจสอบชนิดและปริมาณจุลินทรีย์, ค่าความเป็นกรด-เบสของดิน และตรวจสอบน้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างพลาสติกทดสอบที่ 20, 30 และ 60 วัน หลังการฝังกลบ.

2.2.2.5 ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างพลาสติกทดสอบที่ฝังกลบในดินและปุ๋ยหมักที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ได้ฆ่าเชื้อ เพื่อตรวจสอบผลของสมบัติทางเคมีของวัสดุฝังกลบที่มีผลต่อตัวอย่างพลาสติกทดสอบ ตามวิธีการ ดังนี้:

- (1) การทดสอบความต้านแรงดึงขาดและการยึดตัวของพลาสติกทดสอบ

- นำตัวอย่างชิ้นงานมาเก็บในห้องทดสอบที่มีการควบคุมสภาวะที่ค่าอุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อทำการปรับสภาวะของชิ้นงานก่อนทำการทดสอบ.

- วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่จะทำการทดสอบสมบัติเชิงกล (ความหนาและความกว้างของชิ้นงานในช่วงระยะระหว่างหัวจับ).

- ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D882-02, โดยมีระยะระหว่างหัวจับ 50 มิลลิเมตร, ทำการทดสอบตัวอย่างพลาสติกจำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 ชุดตัวอย่าง.

- บันทึกค่าความต้านแรงดึงขาดและการยืดตัวของพลาสติกที่อ่านได้.

(2) การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีด้วย Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR).

- ตัดตัวอย่างทดสอบที่จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีให้ได้ขนาดกับชุดอุปกรณ์ตัดตัวอย่าง.

- นำตัวอย่างทดสอบเข้าเครื่อง FT-IR โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนรังสี IR ตั้งแต่ช่วง $400-4,600 \text{ cm}^{-1}$ (ต่อเซนติเมตร).

- วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่วัดได้.

2.2.3 ศึกษาการย่อยสลายตัวอย่างทดสอบพลาสติกชีวภาพและวัสดุพลาสติกชีวภาพจากโครงการวิจัยเมื่อฝังกลบในปุ๋ยหมัก

พัฒนาวิธีการตรวจสอบการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพในเบื้องต้นโดยการตรวจวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระดับห้องปฏิบัติการ ดัดแปลงจากวิธี Static-Incubation Titrimetric Determination. โดยใช้หลักการที่ธาตุคาร์บอนในสารอินทรีย์ถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์. ทำการดักเก็บและตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น และอยู่ในสภาวะควบคุมอุณหภูมิภายในระบบปิด. เปรียบเทียบตัวอย่างพลาสติกทดสอบหมายเลข 1-14 กับตัวควบคุมเชิงบวก (positive reference; R+) และตัวควบคุมเชิงลบ (negative reference; R-).

กระบวนการตรวจวัดกิจกรรมการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในเบื้องต้น มีขั้นตอนดังนี้:

1) เตรียมปุ๋ยหมักและตัวอย่างที่ต้องการทดสอบให้มีขนาดประมาณ 1-5 มิลลิเมตร.

2) ผสมตัวอย่างพลาสติกทดสอบ ตัวควบคุมเชิงบวก หรือตัวควบคุมเชิงลบ กับปุ๋ยหมักในอัตรา 1:100 .

3) ปรับความชื้นในตัวอย่างทดสอบให้อยู่ที่ความจุความชื้นในสนาม (field capacity).

4) วางขวดตัวอย่างทดสอบร่วมกับขวดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5-2.5 นอร์มัล ในภาชนะปิด บ่มที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส.

5) นำขวดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5-2.5 นอร์มัล ออกมาไทเทรตและเปลี่ยนขวดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ใหม่ทุกๆ 1-5 วัน.

6) คำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นได้ตามสูตร

$$\text{ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์} = (B - V) * (N * E)$$

B - ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตชุดควบคุม (control).

V - ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้ในการไทเทรตชุดการทดลอง.

N - ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก.

E - มีค่าเท่ากับ 22 ถ้าแสดงผลในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์.

2.2.4 การทดสอบค่าความเป็นพิษหลังกระบวนการย่อยสลาย

2.2.4.1 การทดสอบค่าความเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นโดยการปลูกพืชในปุ๋ยหมักที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลาย

ทำการทดสอบค่าความเป็นพิษตกค้างโดยการปลูกพืชซึ่งดัดแปลงจากวิธี OECD Guideline for the testing of chemicals proposal for updating guideline 208: seedling emergence and seedling growth test โดยใช้ต้นผักกาดเขียววางตุ้ง ซึ่งเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Cruciferae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica chinensis* (กรมป่าไม้ 2544) เป็นพืชตัวแทนที่อยู่ในข้อกำหนดตามวิธีทดสอบดังกล่าว, ใช้ปุ๋ยหมักที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากการทดสอบที่ 2.2.3, ตามขั้นตอน ดังนี้:

1. เตรียมวัสดุเพาะปลูก โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ:

- กลุ่มทดลองที่เป็นปุ๋ยหมักอย่างเดียว.

- กลุ่มทดลองที่เป็นดินอย่างเดียว (ไม่ผสมวัสดุปลูกชนิดอื่นและฆ่าเชื้อด้วยการนึ่ง).

- กลุ่มทดลองที่เป็นปุ๋ยหมักร้อยละ 50 ใช้ปริมาณปุ๋ยหมัก: ดิน ในอัตราส่วน 1: 1 โดย

ปริมาตร.

2. ใส่วัสดุเพาะปลูกแต่ละกลุ่มลงในถาดเพาะเมล็ด ขนาด 2x2x4 เซนติเมตร ที่มีลักษณะเป็นรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมปลายตัด, ใส่ถาดเพาะเมล็ดลงในกล่องพลาสติก, รดน้ำให้ดินชุ่มน้ำ.

3. ใส่เมล็ดลงในถาดเพาะเมล็ด หลุมละ 1 เมล็ด โดยใช้เมล็ดผักกาดเขียววางตุ้ง (พันธุ์ต้นเขียว) *Brassica chinensis* Justl var. *parachinensis* (Bailey) Tsen & Lee (เป็นเมล็ดพันธุ์จากบริษัท เจียไต๋ จำกัด มีอัตราการงอก ร้อยละ 80, ความบริสุทธิ์ของเมล็ด ร้อยละ 98) และบ่มไว้ในตู้ควบคุมสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้แสง 12 ชั่วโมงต่อวัน.

4. รดน้ำวันละ 2 ครั้ง (เวลา 08.00 น. และ 13.00 น.โดยประมาณ) ครั้งละ 1.5 มิลลิลิตร ต่อหลุม ในช่วงที่เริ่มเพาะเมล็ดถึงเมล็ดงอก, หลังจากที่เมล็ดของกลุ่มควบคุมงอกได้ร้อยละ 80 ย้ายกล่องที่เพาะเมล็ดทั้งหมดไว้ในโรงเรือน (สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ), เมื่อดันกล้ามีใบจริงจึงเพิ่มปริมาณน้ำเป็น 2 มิลลิลิตรต่อหลุม.

5. บันทึกผลการทดลอง โดยบันทึกวันที่เพาะเมล็ด, วันที่เมล็ดงอกและจำนวนเมล็ดที่งอก, การตายของต้นกล้า, ความสูงของต้นกล้าที่อายุ 20 วัน หลังจากเมล็ดงอก และอาการที่ผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้น.

6. ชั่งน้ำหนักสดของต้นกล้าที่อายุ 20 วัน หลังการงอก และชั่งน้ำหนักแห้งหลังการอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง.

2.2.4.2 การทดสอบค่าความเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นปฏิกิริยาที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลาย ที่มีต่อสัตว์ทดลอง.

โดยใช้ชุดทดสอบ DAPHTOXKIT F™ MAGNA (OECD 2004) ตามขั้นตอน ดังนี้:

1. เพาะไข่ของ *Daphnia magna* ใน standard freshwater.
2. หลังเกิดเป็นตัวแล้ว ให้อาหารก่อนเริ่มการทดสอบ 2 ชั่วโมง.
3. ทำการเจือจางปฏิกิริยาที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายแล้วตามความเข้มข้นที่ต้องการ. ทดสอบด้วย standard freshwater ในภาชนะทดสอบ จากนั้นใส่ *D. magna* ลงไปในภาชนะตามกลุ่มทดสอบและกลุ่มควบคุม (control).
4. นับจำนวน *D. magna* ที่ตาย ที่เวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง.
5. คำนวณค่าความเข้มข้นที่ทำให้ *D. magna* ตายไปครึ่งหนึ่งของจำนวนทดสอบทั้งหมด.

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การทดสอบการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพโดยการฝังกลบในสภาวะธรรมชาติ































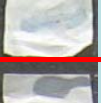




















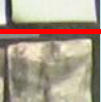














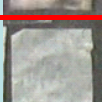







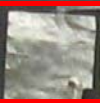











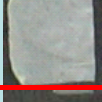
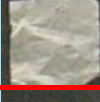






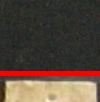

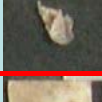























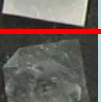



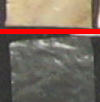




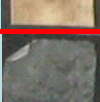
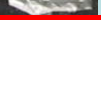






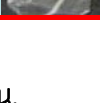
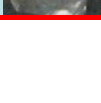
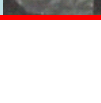










ผลการวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ, ทางเคมี และปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างดินที่เก็บจากบริเวณที่ฝังกลบขยะในพื้นที่เทศบาล 6 จังหวัด ที่เป็นตัวแทนจากแต่ละภูมิภาคของไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่, พิษณุโลก, ขอนแก่น, นครปฐม, ชลบุรี, สงขลา และดินรวมของทุกจังหวัด, ดังแสดงในตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. สมบัติของดินและปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลาย

ตัวอย่างดิน (จังหวัด)	สมบัติทางกายภาพ				สมบัติทางเคมี				ปริมาณจุลินทรีย์ ($\times 10^6$ โคโลนี/กรัม)		
	เนื้อดิน	ความพรุน รวม	ความหนา แน่นรวม	pH	OM (%)	N (%)	P (%)	K (%)	รา	ยีสต์	แบคทีเรีย
1. เชียงใหม่	ร่วนเหนียว ปนทราย	26.00	1.85	6.48	0.93	0.14	0.017	0.150	0.43	0.05	0.76
2. พิษณุโลก (อ. บางระกำ)	ร่วนปน เหนียว	33.06	1.66	7.39	0.94	0.05	0.096	0.160	0.37	0.47	7.14
3. พิษณุโลก (อ. เมือง)	ร่วน	35.16	1.64	6.94	4.36	0.35	0.165	0.112	0.53	0.12	1.37
4. ขอนแก่น	ร่วนปน ทราย	31.56	1.67	7.97	1.48	0.20	0.183	0.324	0.05	-	0.92
5. นครปฐม	ร่วน	52.04	1.06	3.13	4.82	0	0.027	0.265	29.7	39.5	1.30
6. ชลบุรี	ร่วน	33.33	1.64	6.29	1.90	0	0.049	0.188	0.49	-	2.33
7. สงขลา (อ. เมือง)	ร่วนปน ทราย	38.43	1.49	7.63	2.90	0.08	0.409	0.060	4.9	0.7	74.3
8. สงขลา (อ. หาดใหญ่)	ร่วนเหนียว ปนทราย	46.59	1.41	7.04	1.20	0.19	0.033	0.323	31.8	1.0	237
9. ดินรวม (ทุกจังหวัด)	ร่วน	37.86	1.51	6.20	3.97	0.11	0.141	0.194	0.1	2.3	600

หมายเหตุ: OM (Organic Matter) หมายถึง อินทรีย์วัตถุในดิน






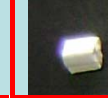


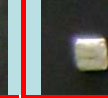
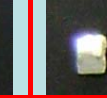

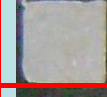


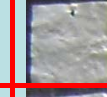
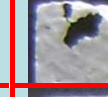
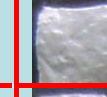
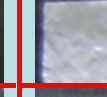
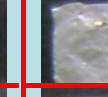






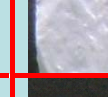





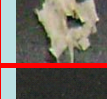







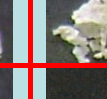

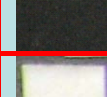






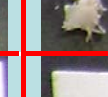


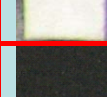


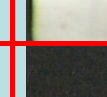





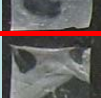
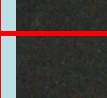









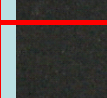


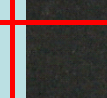
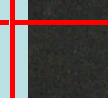




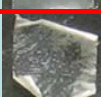
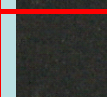














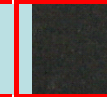


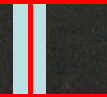


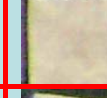


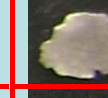


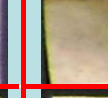




















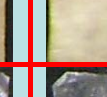
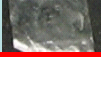



















การศึกษาประสิทธิภาพการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพจำนวน 14 ตัวอย่างจาก 5 บริษัทผู้ผลิตในประเทศไทยเปรียบเทียบกับพลาสติกทดสอบหมายเลข 15 ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี, โดยกลุ่มจุลินทรีย์ในดินที่เก็บจากบริเวณที่ฝังกลบขยะในพื้นที่เทศบาลจำนวน 6 จังหวัด ที่ทำการฝังกลบตัวอย่างทดสอบที่ความลึกของชั้นดินระดับต่างๆ เป็นเวลา 18 เดือน, ที่แปลงทดลองในสภาวะธรรมชาติ, ลักษณะของตัวอย่างทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาฝังกลบ 2, 12 และ 18 เดือน, ดังแสดงในรูปที่ 2-4.

หมายเลข ตัวอย่าง ทดสอบ	ลักษณะ ตั้งต้น	แหล่งตัวอย่างดิน								
		เชียงใหม่	พิษณุโลก (อ.เมือง)	พิษณุโลก (อ.บางระกำ)	ขอนแก่น	นครปฐม	ชลบุรี	สงขลา (อ.เมือง)	สงขลา (อ.หาดใหญ่)	ดินรวม
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

รูปที่ 2. การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบหลังการฝังกลบ 2 เดือน.

หมายเลข ตัวอย่าง ทดสอบ	ลักษณะ ตั้งต้น	แหล่งตัวอย่างดิน								
		เชียงใหม่	พิษณุโลก (อ.เมือง)	พิษณุโลก (อ.บางระกำ)	ขอนแก่น	นครปฐม	ชลบุรี	สงขลา (อ.เมือง)	สงขลา (อ.หาดใหญ่)	ดินรวม
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

รูปที่ 3. การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบหลังการฝังกลบ 12 เดือน.

หมายเลข ตัวอย่าง ทดสอบ	ลักษณะ ตั้งต้น	แหล่งตัวอย่างดิน								
		เชียงใหม่	พิษณุโลก (อ.เมือง)	พิษณุโลก (อ.บางระกำ)	ขอนแก่น	นครปฐม	ชลบุรี	สงขลา (อ.เมือง)	สงขลา (อ.หาดใหญ่)	ดินรวม
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

รูปที่ 4. การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบหลังการฝังกลบ 18 เดือน.

จากนั้น ชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละของน้ำหนักของพลาสติกที่สูญหายไป โดยใช้สูตร,

$$\text{น้ำหนักที่สูญหายไป (ร้อยละ)} = 100 \times \frac{\text{น้ำหนักพลาสติกเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักพลาสติกหลังการฝังกลบ}}{\text{น้ำหนักพลาสติกเริ่มต้น}}$$

ผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4-12 และรูปที่ 5-7.

ตารางที่ 4. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัด เชียงใหม่ ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-6, 8-10, 15	7, 11-14		
	12	1-6, 15	9, 10, 12-14	7, 8, 11	7, 8
	18	1, 3, 6, 15	2, 12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
15-30	6	1-6, 8-11, 15	7, 12-14		
	12	1-6, 9, 15	7, 12-14	8, 11	
	18	1-3, 6, 15	4, 12-14	5, 7-11	5, 7-11
มากกว่า 30	6	1-7, 9-11, 15	8, 12-14		
	12	1-6, 9, 15	7, 8, 10-14		
	18	1, 2, 6, 15	3, 4, 12-14	5, 7-11	5, 7-11

ตารางที่ 5. ร้อยละของน้ำหนักร้อยตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัด
ขอนแก่น ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-6, 15	12-14	7-11	7-11
	12	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 7-11
	18	1, 2, 6, 15	3, 12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
15-30	6	1-6, 9, 15	8, 12-14	7, 10, 11	10, 11
	12	1-6, 15	12-14	7-11	7-11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
มากกว่า 30	6	1-6, 15	8, 9, 12-14	7, 10, 11	11
	12	1-3, 5, 6, 15	4, 12-14	7-11	7-11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11

ตารางที่ 6. ร้อยละของน้ำหนักร้อยตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัด
ชลบุรี ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-11, 15	12-14		
	12	1-6, 15	9-14	7, 8	
	18	1, 2, 3, 6	12-15	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
15-30	6	1-6, 8-10, 15	12-14	7, 11	11
	12	1-6, 15	8, 9, 10, 12-14	7, 11	7, 11
	18	1, 2, 3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
มากกว่า 30	6	1-11, 15	12-14		
	12	1-6, 15	9-14	7, 8	
	18	1-3, 6	12-15	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11

ตารางที่ 7. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัด นครปฐม ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-7, 9-11, 15	8, 12-14		
	12	1-7, 9-11, 15	8, 12-14		
	18	1-4, 6, 15	7, 10, 13	5, 8, 9, 11, 12, 14	5, 8, 9
15-30	6	1-7, 9-11, 15	8, 12-14		
	12	1-7, 9-11, 15	12	8, 13, 14	
	18	1, 2, 3, 6, 15	12	4, 5, 7-11, 13, 14	4, 5, 7-11, 13, 14
มากกว่า 30	6	1, 2, 4-11, 15	3, 12-14		
	12	1, 2, 4-11, 15	3, 13	12, 14	
	18	1, 2, 6, 15	3	4, 5, 7-14	4, 5, 7-14

ตารางที่ 8. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัด พิษณุโลก (อำเภอบางระกำ) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-11, 15	12-14		
	12	1-7, 9- 11, 15	8, 12-14		
	18	1-3, 6, 15	12-14	5, 7-11	5, 7-11
15-30	6	1-6, 9, 10, 15	12-14	7, 8, 11	7, 11
	12	1-4, 6, 15	12-14	5, 7-11	7-11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
มากกว่า 30	6	1-6, 15	8, 11-14	7, 9, 10	7, 10
	12	1-6, 15	12-14	7-11	7-11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11

ตารางที่ 9. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัด พิษณุโลก (อำเภอเมือง) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-6, 9, 10, 15	11-14	7, 8	7
	12	1-6, 10, 15	9, 12-14	7, 8, 11	7, 11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
15-30	6	1-6, 8, 9, 10, 15	11-14	7	7
	12	1-6, 15	8, 12-14	7, 9- 11	7, 11
	18	1, 6, 15	12-14	2-11	2-11
มากกว่า 30	6	1-6, 9, 10, 15	8, 12-14	7, 11	7, 11
	12	1-6, 10, 15	12-14	7, 8, 9, 11	7-9, 11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11

ตารางที่ 10. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัด สงขลา (อำเภอเมือง) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

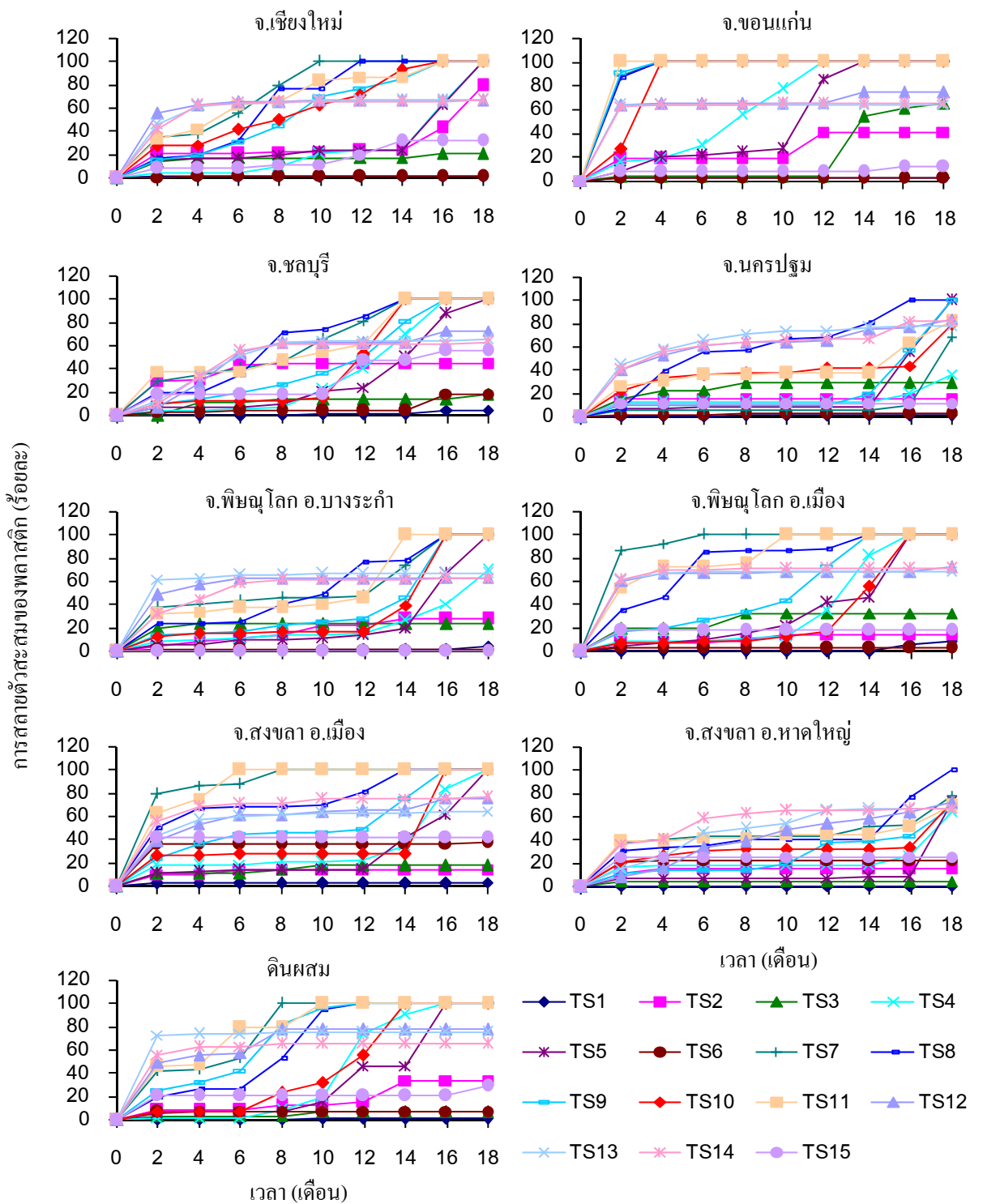
ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-6, 9, 10, 15	8, 12-14	7, 11	11
	12	1-6, 9, 10, 15	12-14	7, 8, 11	7, 11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
15-30	6	1-6, 8-10, 15	12-14	7, 11	7, 11
	12	1-6, 10, 15	8, 9, 12-14	7, 11	7, 11
	18	1-3, 6, 15	4, 5, 12-14	7-11	7-11
มากกว่า 30	6	1-6, 9, 10, 15	8, 12-14	7, 11	11
	12	1-6, 9, 10, 15	12-14	7, 8, 11	7, 11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11

ตารางที่ 11. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินจากจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

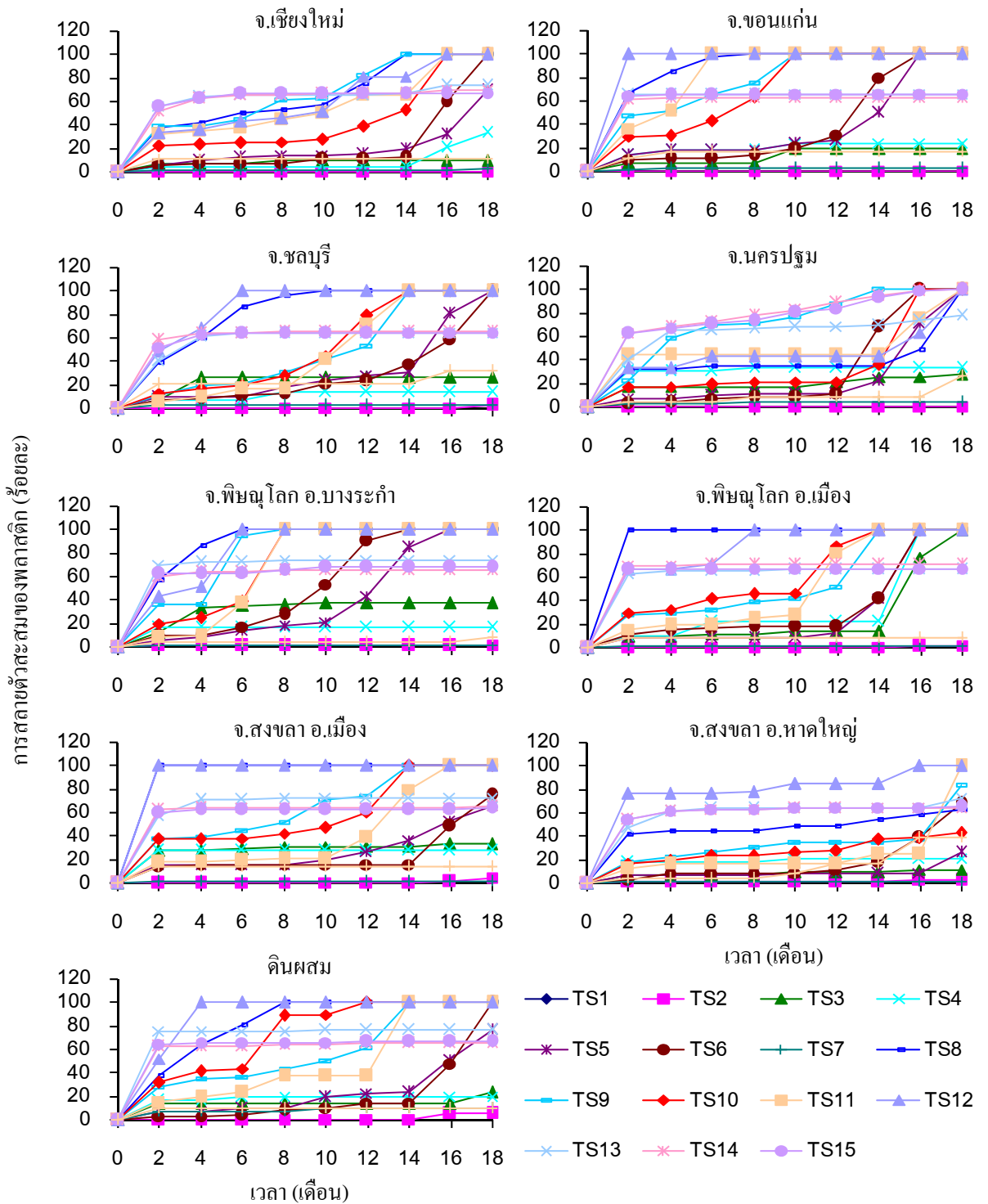
ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-13, 15	14		
	12	1-11, 15	12-14		
	18	1-3, 6, 15	4, 5, 7, 9-14	8	8
15-30	6	1-10, 15	11-14		
	12	1-10, 15	12-14	11	
	18	1-4, 6, 9, 15	5, 7, 12-14	8, 10, 11	10, 11
มากกว่า 30	6	1-6, 8-10, 15	7, 11-14		
	12	1-6, 9, 10, 15	8, 12-14	7, 11	11
	18	1-6, 15	12-14	7-11	7, 8, 10, 11

ตารางที่ 12. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบที่สูญหายไปหลังทำการฝังกลบในดินรวมทุกจังหวัด ที่ระดับความลึกต่างๆ เป็นเวลา 6, 12 และ 18 เดือน

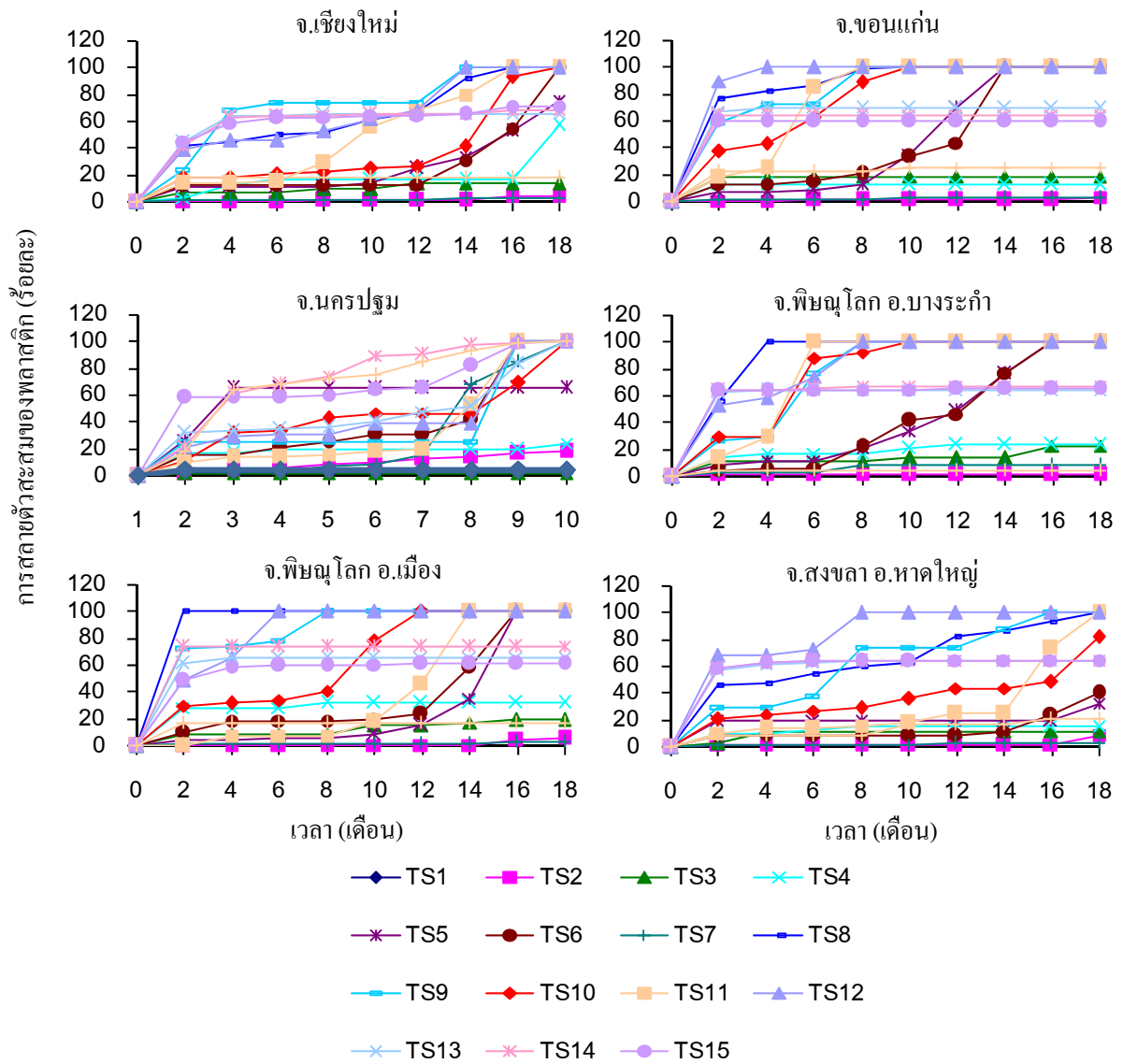
ความลึก (เซนติเมตร)	เวลาฝังกลบ (เดือน)	การสลายตัวสะสม (ร้อยละ)			
		น้อยกว่า 50	50 - 80	มากกว่า 80	100
0-15	6	1-6, 8-10, 15	7, 11-14		
	12	1-3, 5, 6, 15	4, 10, 12-14	7-9, 11	7-9, 11
	18	1-3, 6, 15	12-14	4, 5, 7-11	4, 5, 7-11
15-30	6	1-6, 8-10, 15	12-14	7, 11	11
	12	1-6, 10, 15	8, 12-14	7, 9, 11	7, 9, 11
	18	1-3, 6, 15	4, 12-14	5, 7-11	5, 7-11



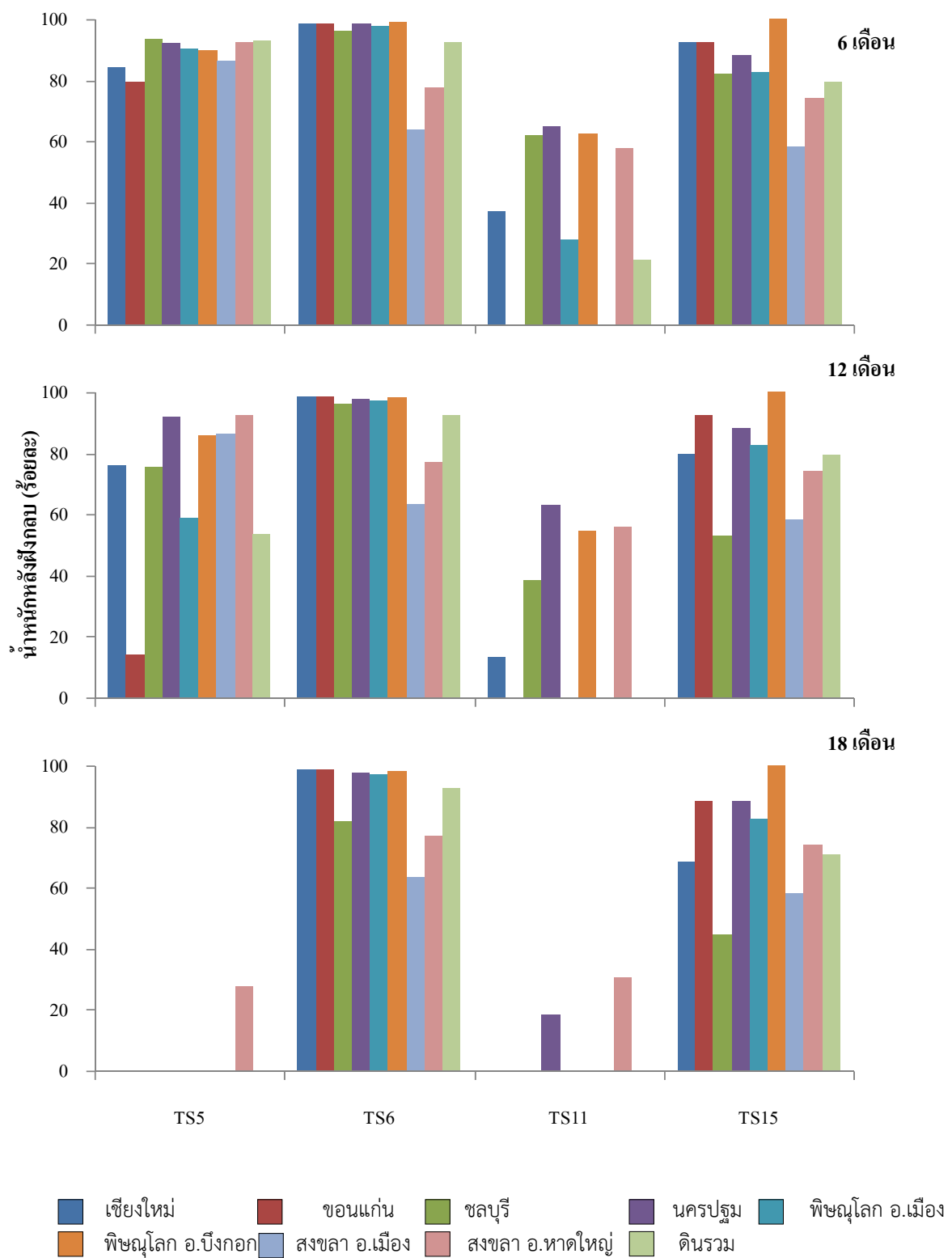
รูปที่ 5. การสลายตัวสะสมของตัวอย่างทดสอบหลังฝังกลบที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร.



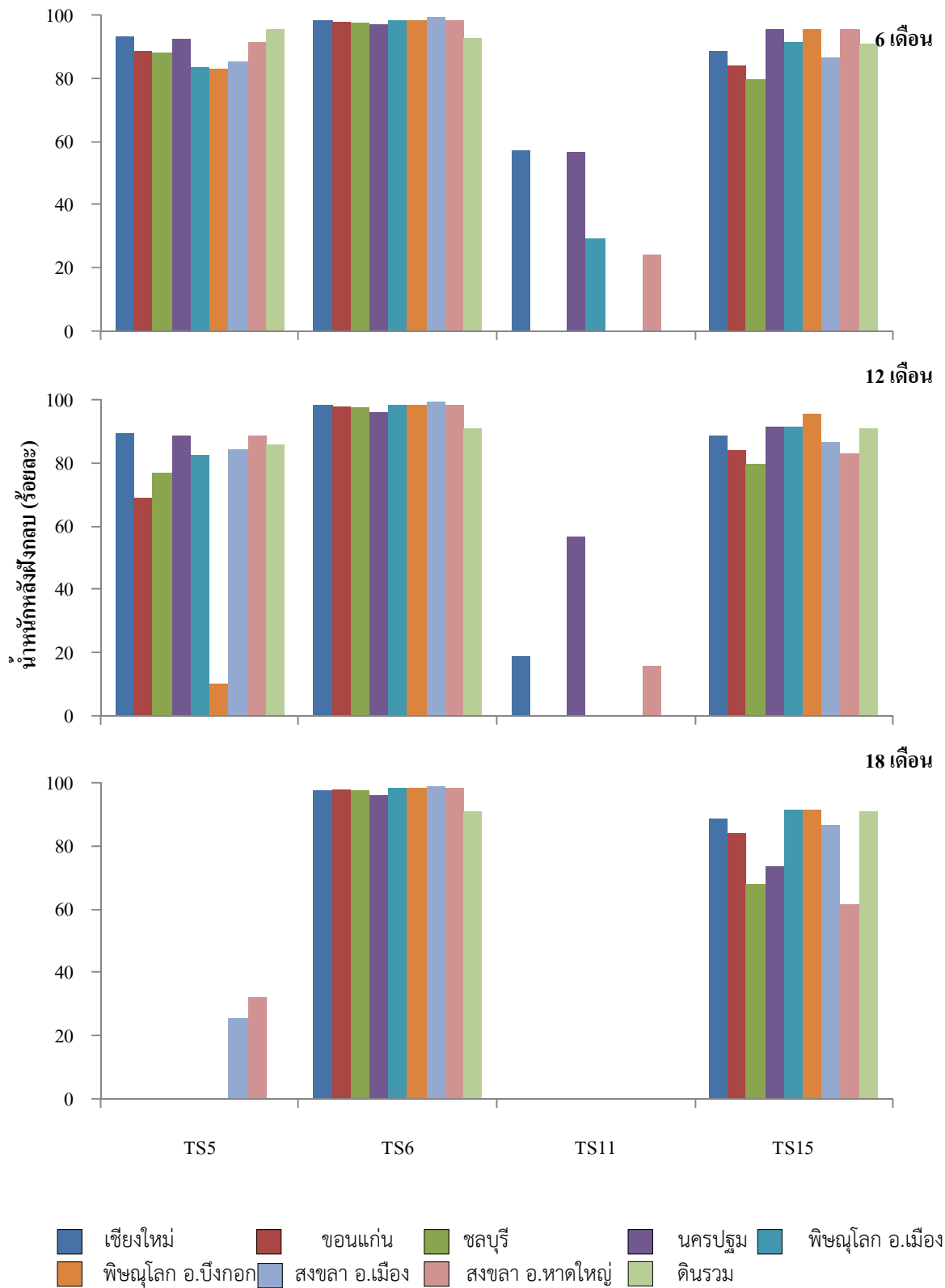
รูปที่ 6. การสลายตัวของสารของตัวอย่างทดสอบหลังฝังกลบที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร.



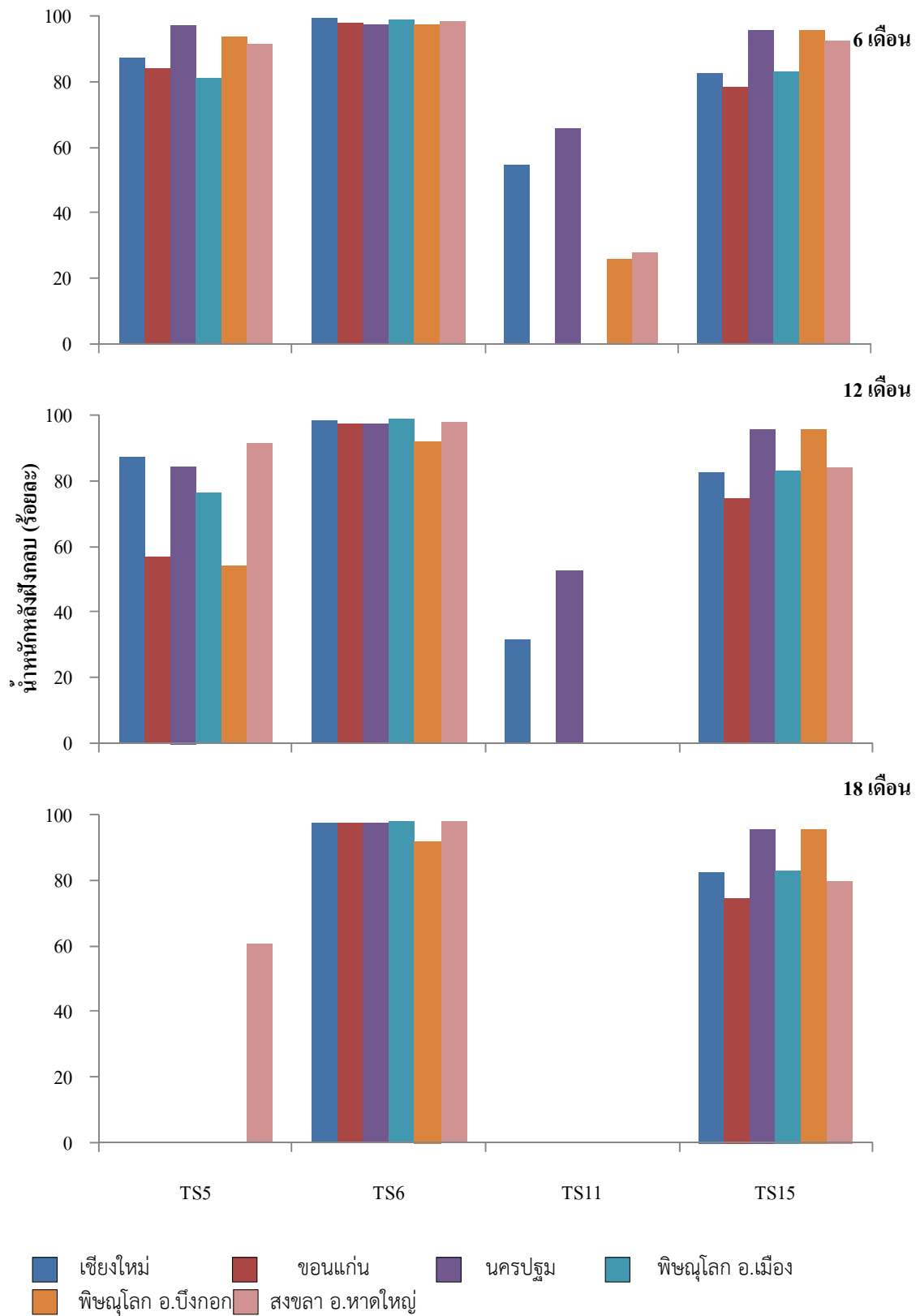
รูปที่ 7. การสลายตัวสะสมของตัวอย่างทดสอบหลังฝังกลบที่ระดับความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร.



รูปที่ 8. ร้อยละของน้ำหนัตัวอย่างพลาสติกทดสอบ TS5, TS6, TS11 และ TS15 หลังฝังกลบที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร.



รูปที่ 9. ร้อยละของน้ำหนัตัวอย่างพลาสติกทดสอบ TS5, TS6, TS11 และ TS15 หลังฝังกาบที่ระดับความลึก 16-30 เซนติเมตร.



รูปที่ 10. ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างพลาสติกทดสอบ TS5, TS6, TS11 และ TS15 หลังฝังกาบที่ระดับความลึกมากกว่า 30 เซนติเมตร.

จากตารางที่ 4-12, พบว่า ตัวอย่างพลาสติกทดสอบอย่างน้อย 7 ตัวอย่าง (ได้แก่ ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 4, 5, 7-11) สลายตัวได้หมดในทุกตัวอย่างดิน ยกเว้นดินจากจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ภายในระยะเวลา 18 เดือน. ในขณะที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในตัวอย่างพลาสติกทดสอบหมายเลข 15 ที่เป็นพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน. โดยดินที่ทำให้เกิดการย่อยสลายได้เร็ว ได้แก่ ตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่น, ตัวอย่างดินจากอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และตัวอย่างดินจากอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก, ตามลำดับ. เนื่องมาจากค่าความเป็นกรด-เบสของดินมีความเหมาะสม (pH 7.4-8.0), จึงส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น (สมศักดิ์ 2528). ทั้งนี้กิจกรรมการย่อยสลายที่ดี ไม่ได้มีผลมาจากกลุ่มชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในแต่ละตัวอย่างดิน ดังแสดงในตารางที่ 3, ซึ่งเห็นผลได้ชัดเจนในการย่อยสลายตัวอย่างพลาสติกทดสอบหมายเลข 7 และ 11 นั้น ที่มีการสูญเสียน้ำหนักถึงร้อยละ 50 หลังการฝังกลบได้เพียง 1 เดือน ในตัวอย่างดินจากอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก, ตัวอย่างดินจากอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่น. นอกจากนี้ ในตัวอย่างพลาสติกทดสอบหมายเลข 7-11 สลายตัวได้หมดหลังฝังกลบเพียง 4 เดือน ในตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่น.

พลาสติกทดสอบที่มีส่วนผสมของกรดพอลิแล็กติก (PLA) ซึ่งได้แก่ พลาสติกทดสอบหมายเลข 5, 6 และ 11 ดังแสดงในตารางที่ 2 หรือดำเนินการทดสอบ TS5, TS6 และ TS11. เมื่อเปรียบเทียบการสลายตัวได้ทางชีวภาพกับชุดควบคุม (compost) และชุดควบคุมเชิงบวก (R+) จะพบว่า ดำเนินการทดสอบ TS11 มีความสามารถในการสลายตัวทางชีวภาพได้มากกว่า TS5 และ TS6, ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 8-10, ซึ่งทั้ง 3 ดำเนินการทดสอบ นอกจากจะมีส่วนผสมของ PLA แล้วยังมีส่วนผสมประกอบอื่นด้วย. ดำเนินการทดสอบ TS6 มีส่วนผสมประกอบของแคลเซียม, ซึ่งไม่มีในดำเนินการทดสอบ TS11 และ TS6, จึงอาจจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ TS6 มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพน้อยกว่า TS11 และ TS5, เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายแคลเซียมได้. ดังนั้น จึงอาจเป็นไปได้ว่า การใช้แคลเซียมเป็นองค์ประกอบในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ ทำให้การสลายตัวทางชีวภาพของพลาสติกทดสอบเกิดได้ช้าหรือน้อยลง.

นอกจากนี้ พบว่า หลังการฝังกลบเป็นเวลา 18 เดือน, มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในขณะย่อยสลายตัวอย่างทดสอบ อาจทำให้เกิดกรดอินทรีย์บางชนิด, ซึ่งส่งผลให้ค่า pH ลดลง. ในขณะเดียวกัน จุลินทรีย์บางชนิดใช้ธาตุอาหารดังกล่าวในการเจริญเติบโต, จึงพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักลดลง โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม, ส่งผลให้ปริมาณจุลินทรีย์ในภาพรวมลดลงด้วย (สมศักดิ์ 2528), รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 13.

ตารางที่ 13. สมบัติและปริมาณจุลินทรีย์ในตัวอย่างดิน หลังการฝังกลบเป็นเวลา 18 เดือน

ตัวอย่างดิน	ความลึก (ซม.)	pH	OM (ร้อยละ)	Total-N (ร้อยละ)	P (ร้อยละ)	K (ร้อยละ)	จุลินทรีย์ ($\times 10^5$ โคโลนี/กรัม)	
							รา	แบคทีเรีย
เชียงใหม่	0-15	7.52	0.76	0.01	0.002	0.08	0.06	4.20
	15-30	8.22	0.53	0.03	0.002	0.07	0.05	9.01
	>30	8.14	0.45	0.02	0.002	0.07	0.05	3.30
พิษณุโลก (อ. บางระกำ)	0-15	7.51	0.31	0.02	0.011	0.06	0.03	0.60
	15-30	7.70	0.67	0.03	0.012	0.06	0.10	13.00
	>30	7.71	0.91	0.01	0.011	0.05	0.05	2.70
พิษณุโลก (อ. เมือง)	0-15	6.95	2.94	0.04	0.015	0.08	0.03	1.33
	15-30	7.45	2.91	0.04	0.012	0.04	0.01	8.30
	>30	7.53	2.82	0.04	0.012	0.04	0.05	4.90
ขอนแก่น	0-15	8.58	0.74	0.01	0.013	0.09	0.17	7.60
	15-30	8.63	0.79	0.01	0.015	0.09	0.10	11.10
	>30	8.62	0.45	0.03	0.016	0.10	0.09	11.90
ชลบุรี	0-15	7.53	0.98	0.03	0.005	0.08	0.01	2.30
	15-30	7.94	0.91	0.01	0.005	0.09	0.03	1.30
นครปฐม	0-15	3.19	4.78	0.03	0.002	0.01	0.23	0.03
	15-30	4.29	4.01	0.04	0.002	0.01	0.96	0.01
	>30	3.06	3.39	0.04	0.001	0.01	0.05	-
สงขลา (อ. เมือง)	0-15	7.75	2.03	0.04	0.017	0.02	0.01	4.70
	15-30	8.30	1.67	0.01	0.015	0.02	0.05	4.30
สงขลา	0-15	7.93	0.26	0.02	0.002	0.04	0.06	0.80

ตารางที่ 13. (ต่อ)

ตัวอย่างดิน	ความลึก (ซม.)	pH	OM (ร้อยละ)	Total-N (ร้อยละ)	P (ร้อยละ)	K (ร้อยละ)	จุลินทรีย์ ($\times 10^5$ โคโลนี/กรัม)	
							รา	แบคทีเรีย
(อ.หาดใหญ่)	15-30	7.89	0.29	0.03	0.001	0.03	0.06	8.00
	>30	8.03	0.60	0.03	0.001	0.04	0.05	1.00
ดินรวม	0-15	8.19	0.60	0.01	0.010	0.03	-	2.50
	15-30	8.26	0.91	0.00	0.011	0.03	-	2.20

จากผลการทดสอบข้างต้น กล่าวได้ว่าตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่นและอำเภอเมืองจังหวัดพิษณุโลก มีสมบัติที่เหมาะสมทำให้การสลายตัวของตัวอย่างทดสอบเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว. เมื่อตรวจสอบชนิดและปริมาณของกลุ่มจุลินทรีย์ในตัวอย่างดินดังกล่าว พบว่า มีแบคทีเรียจำนวน 2 ไอโซเลต ในตัวอย่างดินจากจังหวัดขอนแก่น และแบคทีเรีย 1 ไอโซเลต ในตัวอย่างดินจากอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก, ที่สามารถดำรงชีพได้ในทุกระดับความลึกที่ฝังกลบหรือทุกสภาวะการมีอากาศ. ทั้งนี้ จากการตรวจสอบในระดับชีววิทยาโมเลกุล พบว่า จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่มีบทบาทในการย่อยสลายจัดอยู่ในกลุ่ม *Bacillus* spp. ดังแสดงในตารางที่ 14-15.

ตารางที่ 14. กลุ่มจุลินทรีย์ที่จำแนกตามสภาวะการบ่ม จากตัวอย่างดินจังหวัดขอนแก่น หลังฝังกลบ
เป็นเวลา 18 เดือน

ชนิด	รหัส	ความลึก (เซนติเมตร)									
		5			15			35			
		Aer	Fac	Ana	Aer	Fac	Ana	Aer	Fac	Ana	
แบคทีเรีย	KK-B1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	KK-B2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	KK-B3	✓	✓	-	-	✓	-	✓	-	-	-
	KK-B4	-	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	✓
	KK-B5	✓	-	-	-	✓	✓	-	✓	-	-
	KK-B6	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-
	KK-B7	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓	✓	✓
	KK-B8	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	-	-
	KK-B9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓
	KK-B10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KK-B11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รา	KK-Fg1	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-
	KK-Fg2	✓	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
	KK-Fg3	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-
	KK-Fg4	✓	✓	-	-	✓	-	-	✓	-	-
	KK-Fg5	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	KK-Fg6	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-

ตารางที่ 15. กลุ่มจุลินทรีย์ที่จำแนกตามสภาวะการบ่มจากตัวอย่างดิน อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก หลังฝังกลบเป็นเวลา 18 เดือน

ชนิด	รหัส	ความลึก (เซนติเมตร)								
		5			25			40		
		Aer	Fac	Ana	Aer	Fac	Ana	Aer	Fac	Ana
แบคทีเรีย	PM-B1	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	PM-B2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	PM-B3	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	✓
	PM-B4	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	-
	PM-B5	✓	-	-	✓	✓	-	-	✓	-
	PM-B6	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
	PM-B7	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-
	PM-B8	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-
	PM-B9	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	-
	PM-B10	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
	PM-B11	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	-
	PM-B12	-	-	-	-	-	✓	-	-	-
ยีสต์	PM-Y1	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	-
	PM-Y2	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	-
รา	PM-Fg1	✓	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM-Fg2	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	-	-
	PM-Fg3	✓	-	-	✓	✓	-	✓	✓	-
	PM-Fg4	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	-
	PM-Fg5	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-
	PM-Fg6	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
	PM-Fg7	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
	PM-Fg8	-	✓	-	-	-	-	-	-	-
	PM-Fg9	-	✓	-	-	-	-	-	✓	-
	PM-Fg10	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	-
	PM-Fg11	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : ✓ = มี

- = ไม่มี

Aer = สภาวะ Aerobe

Fac = สภาวะ Facultative

Ana = สภาวะ Anaerobe

3.2 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการย่อยสลายโดยการฝังกลบในระดับห้องปฏิบัติการ

ทำการศึกษาการย่อยสลายตัวอย่างทดสอบหมายเลข 3, 5, 7, 9, 11 และ 15 ในวัสดุฝังกลบ 3 ชนิด ได้แก่ ตัวอย่างดินจากอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก, ดินรวมทุกจังหวัด และปุ๋ยหมักภายใต้สภาวะไม่ใช้ออกซิเจนในโถเพาะเลี้ยงเชื้อไม่ใช้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วัน. ตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์, ค่าความเป็นกรด-เบสในวัสดุทดสอบ, คำนวณร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างพลาสติกทดสอบที่หายไป, ผลการตรวจสอบ ดังแสดงในตารางที่ 16-18.

ตารางที่ 16 ปริมาณจุลินทรีย์ที่พบในวัสดุฝังกลบระยะการทดสอบฝังกลบแบบไม่ใช้ออกซิเจน

วัสดุฝังกลบ	เวลา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ ($\times 10^4$ cfu ต่อกรัมน้ำหนักตัวอย่างแห้ง)					
		3	5	7	9	11	15
ดินพิษณุโลก	0	76.96	76.96	76.96	76.96	76.96	76.96
	20	2.08	7.49	3.74	4.16	2.08	6.24
	30	6.24	3.74	6.24	2.08	4.16	3.74
	60	4.16	6.24	2.08	3.74	4.16	2.08
ดินรวม	0	359.41	359.41	359.41	359.41	359.41	359.41
	20	64.77	64.77	64.77	64.77	64.77	64.77
	30	35.56	35.56	35.56	35.56	35.56	35.56
	60	25.40	25.40	25.40	25.40	25.40	25.40
ปุ๋ยหมัก	0	71.82	71.82	71.82	71.82	71.82	71.82
	20	0.80	2.66	7.98	2.66	2.66	2.13
	30	2.39	1.33	3.99	7.98	2.66	1.33
	60	4.52	2.66	2.39	7.98	1.33	1.33

ตารางที่ 17. ค่าความเป็นกรด-เบสของวัสดุฝังกลบที่ระยะเวลาและตัวอย่างทดสอบต่างๆ

วัสดุฝังกลบ	เวลา (วัน)	ค่าความเป็นกรด-เบสของวัสดุฝังกลบ/ตัวอย่างทดสอบหมายเลข					
		3	5	7	9	11	15
ดินพิษณุโลก	0	8.39	8.39	8.39	8.39	8.39	8.45
	20	8.61	8.41	8.43	8.51	8.36	8.49
	30	8.41	8.39	8.46	8.43	8.41	8.37
	60	8.56	8.36	8.32	8.36	8.49	8.32
ดินรวม	0	8.04	8.04	8.04	8.04	8.04	8.04
	20	7.89	7.89	7.89	7.89	7.89	7.89
	30	7.82	7.82	7.82	7.82	7.82	7.82
	60	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
ปุ๋ยหมัก	0	7.82	7.82	7.82	7.82	7.82	7.89
	20	8.96	8.99	8.89	8.68	8.65	9.21
	30	9.08	9.11	8.93	8.76	8.86	9.01
	60	8.93	9.00	8.79	8.88	8.94	8.96

ตารางที่ 18. ความชื้นของวัสดุฝังกลบที่ระยะเวลาและตัวอย่างทดสอบต่างๆ

วัสดุฝังกลบ	เวลา (วัน)	ร้อยละความชื้นของวัสดุฝังกลบ/ตัวอย่างทดสอบหมายเลข					
		3	5	7	9	11	15
ดินพิษณุโลก	0	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	33.09
	20	29.76	32.93	29.63	31.63	30.97	32.97
	30	26.53	30.88	30.77	29.99	27.87	32.02
	60	25.36	29.24	29.95	27.56	25.36	30.25
ดินรวม	0	40.31	40.31	40.31	40.31	40.31	40.31
	20	33.19	33.19	33.19	33.19	33.19	33.19
	30	33.47	33.47	33.47	33.47	33.47	33.47
	60	30.58	30.58	30.58	30.58	30.58	30.58
ปุ๋ยหมัก	0	141.74	141.74	141.74	141.74	141.74	130.62
	20	108.38	107.96	110.67	112.56	109.50	120.52
	30	107.90	104.72	94.85	105.24	113.21	108.36
	60	102.27	98.23	93.69	100.61	101.56	100.36

ตารางที่ 19. น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบในวัสดุฝังกลบที่ระยะเวลาต่างๆ

วัสดุฝังกลบ	เวลา (วัน)	น้ำหนักตัวอย่างทดสอบ/ตัวอย่างทดสอบหมายเลข					
		3	5	7	9	11	15
ดินพิษณุโลก	0	0.0552	0.1999	0.2888	0.2051	0.1089	0.0682
	20	0.0654	0.2089	0.2185	0.1832	0.0643	0.0802
	30	0.0585	0.2157	0.2149	0.1805	0.0930	0.0671
	60	0.0550	0.2032	0.1928	0.1684	0.0741	0.0760
ดินรวม	0	0.0552	0.1999	0.2888	0.1158	0.1089	0.0682
	20	0.0628	0.2029	0.2053	0.1598	0.0854	0.0763
	30	0.0668	0.2120	0.2189	0.1737	0.0933	0.0734
	60	0.0685	0.2046	0.1990	0.1604	0.0842	0.0773
ปุ๋ยหมัก	0	0.0552	0.1999	0.2888	0.2051	0.1089	0.0682
	20	0.0716	0.2147	0.2180	0.1745	0.0968	0.0742
	30	0.0713	0.2231	0.2138	0.1764	0.0943	0.0674
	60	0.05812	0.20386	-	0.16002	0.0821	0.08046

หมายเหตุ: “ - “ ตัวอย่างทดสอบอยู่ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้

จากตารางที่ 19, การตรวจสอบความสามารถในการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพนิยมทำการทดสอบน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบเริ่มต้น. ผลการทดสอบน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ จากการศึกษาน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบทั้ง 6 ตัวอย่าง, แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบลดลงเพียงเล็กน้อยภายในระยะเวลา 60 วัน และมีน้ำหนักใกล้เคียงกันเมื่อใช้วัสดุฝังกลบ 3 ชนิด, อาจมีสาเหตุจากเป็นการสลายตัวของสารเคลือบผิวหรือสารเติมแต่ง (additive) บางชนิดที่เติมลงไปในพลาสติกเพื่อเสริมให้พลาสติกมีสมบัติดีขึ้นหรือช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น (สรวารี 2546).

3.2.1 สมบัติความทนแรงดึง

ศึกษาสมบัติเชิงกลของตัวอย่างพลาสติกที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ จากตารางที่ 20 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทดสอบการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพเป็นระยะเวลา 60 วัน สมบัติความทนแรงดึงมีแนวโน้มลดลง.

ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 3 และหมายเลข 15, เมื่อทดสอบการย่อยสลายภายในระยะเวลาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า สมบัติความทนแรงดึงมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 หมายเลขมีพอลิเอทิลีนเป็นองค์ประกอบหลัก, ซึ่งประกอบด้วยพันธะ C-C และ C-H ที่มีความเสถียรและดูดซึมความชื้นได้ต่ำ. ดังนั้น จึงเกิดปฏิกิริยาได้ยาก เป็นผลให้พลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้อยมาก และจากข้อมูลบางชุดพบว่า เมื่อทดสอบการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 60 วัน ตัวอย่างพลาสติกมีสมบัติความทนแรงดึงมากขึ้น, ซึ่งยังอยู่ในช่วงความแข็งแรงเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกเริ่มต้น. ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่า ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 3 และหมายเลข 15 ที่ผ่านการทดสอบการ

ย่อยสลายทางชีวภาพภายในระยะเวลา 60 วัน มีสมบัติความทนแรงดึงใกล้เคียงกับพลาสติกเริ่มต้น ก่อนการทดสอบในวัสดุฝังกลบทั้ง 3 ชนิด.

ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 5 และหมายเลข 11 เป็นตัวอย่างพลาสติกที่มีพอลิแล็กติกและ แป้งเป็นองค์ประกอบทั้งคู่. จากตาราง แสดงให้เห็นว่า สมบัติความทนแรงดึงเริ่มต้นของพลาสติก หมายเลข 5 มีความแข็งแรงและเปราะกว่าหมายเลข 11. ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 5 ที่ทดสอบการย่อย สลายทางชีวภาพ แสดงให้เห็นว่า สมบัติความทนแรงดึงลดลงใกล้เคียงกันในวัสดุฝังกลบทั้ง 3 ชนิด โดยพลาสติกที่ทดสอบการย่อยสลายมีค่าความแข็งแรง (stress) และความยืดหยุ่น (strain) ลดลง.

การทดสอบการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพของตัวอย่างทดสอบหมายเลข 11 แสดงให้ เห็นว่า ค่าความแข็งแรงของพลาสติกที่ทดสอบการย่อยสลายในวัสดุฝังกลบทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกับ พลาสติกเริ่มต้น. แต่สังเกตได้ว่า พลาสติกที่ทดสอบการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 60 วัน ในวัสดุฝัง กลบทั้ง 3 ชนิด มีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ยังคงอยู่ในช่วงความแข็งแรงเดียวกับพลาสติกเริ่มต้น. ส่วน ความยืดหยุ่นของพลาสติกจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดในดินรวม โดยลดลงจากร้อยละ 448.96 เหลือ เพียงร้อยละ 69.53. ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องมาจากใน โครงสร้างมีหมู่เอสเทอร์, ซึ่งเป็นหมู่ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ง่ายกับความชื้นในระบบที่ เกิดจากจุลินทรีย์ และอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นได้ในโครงสร้าง ทำให้โมเลกุลมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงเป็นผลให้ค่าความแข็งแรงมากขึ้น. นอกจากนี้ แป้งสามารถดูดซึมความชื้นได้ดีจึงเป็นผลให้สมบัติ ความทนแรงดึงลดลง. ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าพลาสติกทดสอบหมายเลข 11 ที่ทดสอบการย่อยสลาย ภายในระยะเวลา 60 วัน มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับพลาสติกเริ่มต้นแต่มีความยืดหยุ่นลดลง.

ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 7 และหมายเลข 9 เป็นพลาสติกที่มีแป้งและหมู่เอสเทอร์เป็น องค์ประกอบในโครงสร้าง โดยตัวอย่างทดสอบหมายเลข 7 และหมายเลข 9 ที่ทดสอบการย่อยสลาย ในปุ๋ยหมักและดินรวมเป็นระยะเวลา 60 วัน ไม่สามารถทำการทดสอบสมบัติความทนแรงดึงได้ เนื่องจากตัวอย่างย่อย ไม่เป็นรูปร่างที่สมบูรณ์. จากตารางแสดงให้เห็นว่า ค่าความแข็งแรงของตัวอย่าง ทดสอบหมายเลข 7 ที่ทดสอบการย่อยในวัสดุฝังกลบทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกับพลาสติกเริ่มต้น ในขณะที่ความยืดหยุ่นมีค่าลดลง, โดยลดลงมากที่สุดที่ดินพิษณุโลก. ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 9 ที่ ทดสอบการย่อยสลายในดินรวม พบว่า ไม่สามารถทดสอบสมบัติความทนแรงดึงได้ เนื่องจากขึ้น พลาสติกย่อย. แสดงว่า ตัวอย่างทดสอบชนิดนี้ย่อยสลายในดินรวมได้ดีกว่าวัสดุฝังกลบอีก 2 ชนิด ที่ สามารถทำให้ตัวอย่างทดสอบมีค่าความยืดหยุ่นลดลง, ในขณะที่ความแข็งแรงมีค่าใกล้เคียงกับ พลาสติกเริ่มต้น. นอกจากนี้ การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของหมู่เอสเทอร์ยังเป็นผลให้น้ำหนัก โมเลกุลมีขนาดเล็กลงได้ด้วยเช่นกัน จึงส่งผลต่อสมบัติความทนแรงดึงที่ลดลงด้วย (ช่วยจุลจิตร 2543).

ตารางที่ 20. สมบัติความทนแรงดึงของตัวอย่างทดสอบในวัสดุฟังกอลที่ระยะเวลา 60 วัน

ชนิดดิน	เวลา (วัน)	ตัวอย่างทดสอบหมายเลข/สมบัติความทนแรงดึง											
		3		5		7		9		11		15	
		Stress ¹	Strain ²	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain	Stress	Strain
พืชนุโลก	0	332.93a ³	205.19a	150.5a	161.03a	65.87a	542.21a	79.70a	272.84a	48.74a	448.96a	130.35a	125.74a
	30	312.37a	182.11a	145.48ab	111.18b	60.85a	45.94c	72.88a	32.57b	46.70a	62.50b	142.61a	163.59a
	60	290.29a	193.02a	139.56b	36.09c	72.12a	142.66b	77.37a	39.62b	52.850a	154.33b	153.71a	199.72a
	F-Test	ns ⁴	ns	* ⁵	*	ns	*	ns	*	ns	*	ns	ns
	C.V.	0.14	0.12	0.08	1.22	0.17	2.16	0.09	2.38	0.13	1.82	0.16	0.45
ดินรวม	0	332.93a	205.19a	150.5a	161.03a	65.87a	542.21a	79.70a	272.84a	48.74a	448.96a	130.35a	125.74a
	30	346.12a	229.37a	120.39b	51.79b	77.87a	142.3b	63.76b	8.52b	53.55a	168.14b	137.95a	163.52a
	60	309.87a	220.92a	147.58a	32.55b	71.21a	188.33b	-	-	59.60a	69.53b	164.83a	212.19a
	F-Test	ns	ns	*	*	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns
	C.V.	0.11	0.11	0.24	1.69	0.17	1.50	1.76	3.31	0.20	1.72	0.25	0.52
ปุ๋ยหมัก	0	332.93a	205.19a	150.50a	161.03a	65.87a	542.21a	79.70a	272.84a	48.74a	448.96a	130.35b	125.74a
	30	298.47a	207.28a	132.44b	55.84b	64.75a	102.24b	72.45a	82.02b	62.78a	162.50b	163.57ab	127.55a
	60	305.51a	205.80a	151.46a	20.84c	-	-	80.04a	66.83b	57.92a	97.29b	177.14a	205.05a
	F-Test	ns	ns	*	*	*	*	ns	*	ns	*	*	ns
	C.V.	0.12	0.01	0.15	1.84	1.73	2.68	0.11	1.63	0.25	1.58	0.31	0.59

หมายเหตุ: 1. Stress ณ จุดขาด มีหน่วยเป็น กก./ซม². 2. Strain ณ จุดขาดมีหน่วยเป็น ร้อยละ 3. ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึง ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 5. * = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.2 โครงสร้างทางเคมี

จากการศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR ของตัวอย่างทดสอบ 6 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 7, 9 และ 11 มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่ง 3700-3450 cm^{-1} , หมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ตำแหน่ง 1750-1735 cm^{-1} , $-\text{CH}_3$ ที่ตำแหน่ง 1380-1370 และ C-O ที่ตำแหน่ง 1200-1000 cm^{-1} , ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่พบในพอลิแล็กติก (Gupta Revagade and Hilborn 2007) และยังเป็นโครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ของตัวอย่างทดสอบการย่อยสลายที่พบในครั้งนี้นี้. ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 5 ไม่พบหมู่ไฮดรอกซิลแต่พบหมู่อื่น ดังกล่าวข้างต้น.

จากตารางที่ 21 พบว่า ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 3 และ 15 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเมื่อทำการย่อยสลายในวัสดุฝังกลบทั้ง 3 ชนิด. นอกจากนี้ ยังสังเกตพบว่า โครงสร้างทางเคมีของตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีพอลิเอทิลีนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลองค์ประกอบที่บริษัทให้มาและสอดคล้องกับสมบัติความทนแรงดึงที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย. ดังนั้น จึงส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 ชนิดนี้ ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพภายในระยะเวลา 60 วัน.

ตารางที่ 21. ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของตัวอย่างทดสอบหลังฝังกลบ

ตัวอย่างทดสอบ หมายเลข	IR Spectrum 1	IR Spectrum 2	IR Spectrum 3
3			
5			
7			
9			
11			
15	 	 	

หมายเหตุ: คือ -OH
 คือ C=O
 คือ C-O

ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 5 จะมีการเปลี่ยนแปลงพันธะเอสเทอร์ที่ระยะเวลา 60 วัน เมื่อทดสอบการย่อยสลายในปุ๋ยหมัก, โดยหมู่คาร์บอนิลและพันธะ C-O ซึ่งเป็นองค์ประกอบของพันธะเอสเทอร์จะมีแนวโน้มลดลง.

ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 7, 9 และ 11 มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีโดยหมู่ไฮดรอกซิลจะลดลงและหายไปเมื่อระยะเวลาการย่อยสลายนานขึ้น. เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างทางเคมีของแป้ง เมื่อแป้งเกิดการย่อยสลายจึงทำให้หมู่ไฮดรอกซิลหายไปด้วย. ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 9 และ 11 ยังพบการเปลี่ยนแปลงที่ตำแหน่งพันธะเอสเทอร์ด้วย.

ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 5 และ 11 ซึ่งมีพอลิแล็กติกเป็นองค์ประกอบ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงที่พันธะเอสเทอร์ เมื่อทำการย่อยสลายนานขึ้น. แต่ตัวอย่างทดสอบหมายเลข 11 ยังพบการเปลี่ยนแปลงของหมู่ไฮดรอกซิลที่น่าจะเกิดจากการมีแป้งเป็นองค์ประกอบ. ดังนั้น จึงทำให้ตัวอย่างทดสอบเกิดการย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมบัติความทนแรงดึงที่ลดลงอย่างชัดเจน เมื่อนำไปทดสอบการย่อยสลายภายในระยะเวลา 60 วัน.

3.3 การย่อยสลายตัวอย่างทดสอบพลาสติกชีวภาพและวัสดุพลาสติกชีวภาพจากโครงการวิจัยเมื่อฝังกลบในปุ๋ยหมัก

ผลการพัฒนาวิธีการตรวจสอบการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพในเบื้องต้น โดยการตรวจวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระดับห้องปฏิบัติการ, โดยตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกิจกรรมจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 14855 ดังแสดงในตารางที่ 22, ในสภาวะควบคุมเทียบกับการย่อยสลายตัวควบคุมเชิงบวกหรือเซลล์โลส (positive reference; R+) และตัวควบคุมเชิงลบหรือพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (negative reference; R-) พบว่า จุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักมีกิจกรรมการย่อยสลายเซลล์โลสได้ดีที่สุด และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุมและชุดควบคุมเชิงลบ. จากนั้น ทำการตรวจสอบการย่อยสลายของตัวอย่างพลาสติกทดสอบหมายเลข 1-14 เทียบกับชุดควบคุม (control) และชุดควบคุมเชิงบวก (R+), ดังแสดงในตารางที่ 23.

ตารางที่ 22. สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการตรวจสอบการสลายตัวของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพในเบื้องต้นโดยตรวจวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในระดับห้องปฏิบัติการในสภาวะควบคุม

สมบัติที่วิเคราะห์	ปุ๋ยหมัก มน.	เกณฑ์มาตรฐาน	
		กรมวิชาการเกษตร (2548)	ISO-14855
pH	7.35	5.5-8.5	7-9
Moisture (%)	22.10	< 35	-
Total nitrogen (%)	1.97	≥ 1	-
P ₂ O ₅ (%)	1.68	≥ 0.5	-
K ₂ O (%)	2.32	≥ 0.5	-
Organic matter (%)	16.10	≥ 30	-
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	-	< 6 dS/m	-
C:N ratio	4.75	≤ 20	10-40
Total dry solids (%)	46.8	-	50-55% ของ wet solids
Total volatile solids (%)	18.01	-	≤ 15% ของ wet solids
แบคทีเรีย (cfu/กรัม)	10 ⁵ -10 ⁶	-	-
รา (cfu/กรัม)	10 ³ -10 ⁴	-	-

ตารางที่ 23. ร้อยละปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในตัวอย่างพลาสติกทดสอบ เทียบกับชุดควบคุม (control) ชุดควบคุมเชิงบวก (R+) และชุดควบคุมเชิงลบ (R-)

ตัวอย่างทดสอบ	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเปรียบเทียบกับชุดควบคุมเชิงบวก (R+)
Control ^{1/}	100.00	37.72-49.58
R+ ^{2/}	200.62-265.10	100.00
R- ^{3/}	95.10-123.17	41.01-52.28
1 ^{4/}	94.35	42.90
2	95.98	43.65
3	106.90	40.54
4	108.11	49.16
5	103.14	39.11
6	97.10	36.63
7	135.57	51.14
8	122.42	46.18
9	120.58	45.49
10	124.30	46.89
11	147.40	55.89
12	174.91	79.54
13	192.48	87.53
14	184.31	83.81

หมายเหตุ :

^{1/} ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมัก (ไม่รวมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะทดสอบ)

^{2/} ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมที่เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลาย Cellulose microcrystalline โดยจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมัก (Cellulose microcrystalline สลายตัวได้ง่ายในสภาวะธรรมชาติ : อ้างอิงจาก ASTM D 5338-98)

^{3/} ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมที่ได้จากกิจกรรมการย่อยสลายถุงบรรจุภัณฑ์ชนิด Polyethylene (PE) โดยจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมัก (Polyethylene จัดเป็นพลาสติกประเภทสลายตัวได้ยากในสภาวะธรรมชาติ : อ้างอิงจาก ASTM D 5338-98)

^{4/} ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมที่ได้จากกิจกรรมการย่อยสลายตัวอย่างทดสอบโดยจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมัก

จากตารางที่ 23, ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมใน control R+ และ R- จำนวน 7 ครั้ง ในช่วงระยะเวลา 12 เดือน พบว่า ทุกครั้งที่ทำการตรวจสอบ, R+ มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ในขณะที่ตัวอย่าง control และ R- มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน. ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในตัวอย่างเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) และชุดควบคุมเชิงบวก (R+) พบว่า ลำดับของร้อยละปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในตัวอย่างเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดควบคุมเชิงบวกไม่สอดคล้องกัน. ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการแบ่งตัวอย่างทดสอบและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเป็นการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและชุดควบคุมเชิงบวกในการทดลองแต่ละครั้ง.

3.4 ค่าความเป็นพิษหลังการย่อยสลาย

ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดที่นำมาทดสอบค่าความเป็นพิษหลังการย่อยสลายมีรายละเอียดและผลการทดสอบ ดังนี้:

ตารางที่ 24. รายละเอียดตัวอย่างทดสอบและดำรับการทดสอบในการทดสอบ

ลำดับ	รายละเอียดตัวอย่างทดสอบ	ดำรับการทดสอบ	
		ไม่ผสมดิน	ผสมดินร้อยละ 50
1	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS1 ^{1/}	TS1	TS1(50)
2	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS2	TS2	TS2(50)
3	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS3	TS3	TS3(50)
4	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS4	TS4	TS4(50)
5	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS5	TS5	TS5(50)
6	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS6	TS6	TS6(50)
7	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS7	TS7	TS7(50)
8	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS8	TS8	TS8(50)
9	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS9	TS9	TS9(50)
10	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS10	TS10	TS10(50)
11	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS11	TS11	TS11(50)
12	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS12	TS12	TS12(50)
13	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS13	TS13	TS13(50)
14	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS14	TS14	TS14(50)
15	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข TS15	TS15	TS15(50)
16	ปุ๋ยหมัก (ชุดควบคุม)	Compost	Compost (50)
17	ปุ๋ยหมักผสมเซลลูโลส (ชุดควบคุมเชิงบวก)	R+	R+ (50)
18	ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบชนิด PE (ชุดควบคุมเชิงลบ)	R-	R- (50)
19	ดิน ^{2/}	Control	

หมายเหตุ: ^{1/}ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลขต่างๆ ที่ผ่านการฝังกลบในสภาวะมีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 วัน

^{2/}ดินที่ไม่ผสมวัสดุปลูกอื่นและผ่านการฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งความดันไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นระยะเวลา 30 นาที

3.4.1 การทดสอบค่าความเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นโดยใช้การปลูกพืชตามมาตรฐาน OECD 208 (OECD 2006) ในปุ๋ยหมักที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายตัวอย่างพลาสติกทดสอบ

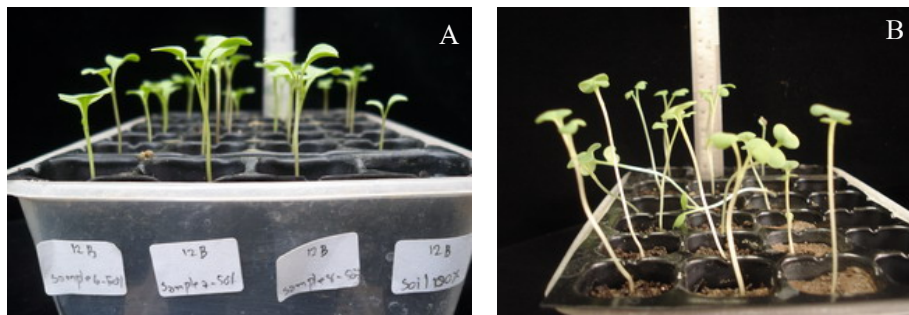
ตารางที่ 25 แสดงผลการนำ Compost (ปุ๋ยหมัก) R+ (ปุ๋ยหมักผสมเซลลูโลส) TS1 - TS15 (ปุ๋ยหมักผสมพลาสติกทดสอบหมายเลข 1 - 15 ตามลำดับ) ที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการมาทดสอบความเป็นพิษต่อพืช, โดยใช้ผักกาดเขียววางตุ้ง ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica chinensis* var. *parachinensis* (กรมป่าไม้ 2544) เป็นพืชทดสอบ, พบว่า การนำปุ๋ยหมักที่มีส่วนผสมของพลาสติกทดสอบมาปลูกผักกาดเขียววางตุ้งโดยตรงหรือผสมดิน ร้อยละ 50 ไม่มีผลต่อร้อยละการงอกของเมล็ด, ร้อยละการรอดชีวิตของต้นกล้า และจำนวนวันที่งอก. แต่มีผลต่อความสูง, น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่า ผักกาดเขียววางตุ้งที่ปลูกด้วยปุ๋ยหมักผสมดินร้อยละ 50 มีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกในปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว (compost). คาดว่าอาจจะเกิดจากความเค็ม (salinity) ของปุ๋ยหมัก ซึ่งโดยปุ๋ยหมักทั่วไปมีค่าความเค็มมากกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร. ดังนั้น การผสมปุ๋ยหมักกับดินที่มีค่าความเค็ม 0.23 เดซิซีเมนต่อ

เมตร จึงเป็นลดความเค็มและทำให้ปริมาณธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้น, ส่งผลให้ผักกาดเขียววางตั้งสามารถเจริญเติบโตได้ดี สอดคล้องกับผลการเปรียบเทียบน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 25, ซึ่งพบว่า ผักกาดเขียววางตั้งที่ปลูกในปุ๋ยหมักผสมดินร้อยละ 50 มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากกว่าการปลูกในดินเพียงอย่างเดียว (control).

อย่างไรก็ตาม เป็นที่น่าสังเกตว่า ข้อมูลการทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมักที่มีส่วนผสมของพลาสติกทดสอบมีค่าความแปรปรวนจากการทดลองสูง. ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมในการทดสอบ เช่น อุณหภูมิ (20.87-31.80 องศาเซลเซียส), ความชื้น (ร้อยละ 46.2-89.74) และความเข้มแสง (6935.5 ลักซ์). นอกจากนี้ ปริมาณของวัสดุปลูกจะต้องมีปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าหลังจากการงอก 20 วัน, ซึ่งในการทดลองนี้เป็นการทดสอบความเป็นพิษกับพืชเพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้น. ดังนั้น การควบคุมปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม.



รูปที่ 11. การงอกของเมล็ด อายุได้ 5 วัน.



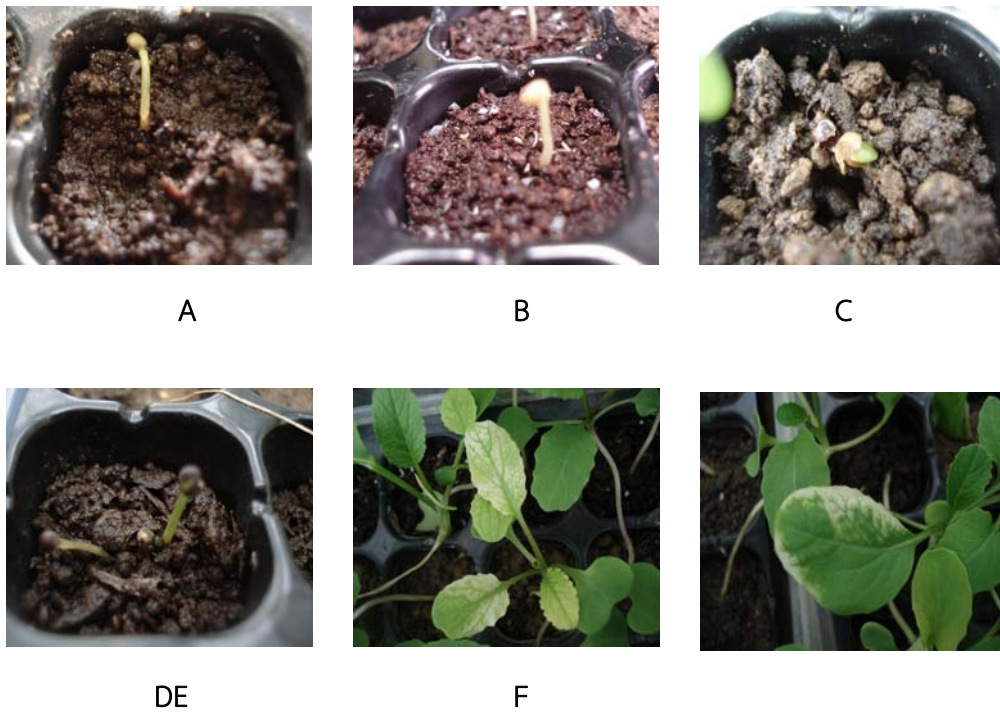
รูปที่ 12. ต้นผักกาดเขียววางตั้งทิ้งอก (A) อายุ 2 วัน และ (B) อายุ 4 วัน.



รูปที่ 13. การตายของต้นกล้า (A) เมล็ดที่กำลังงอก และ (B) ต้นกล้าที่เริ่มตาย.



รูปที่ 14. ต้นผักกาดเขียวกวางตั้งที่อายุได้ 20 วัน.



รูปที่ 15. ต้นกล้าที่ตายหลังจากที่เมล็ดงอกและอาการผิดปกติของต้นกล้า (Chlorosis) (A คือ TS3, B คือ TS5, C คือ TS4, D คือ Control E และ F คือ TS7).

3.4.2 การทดสอบค่าความเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นในสัตว์ทดลองของปุ๋ยหมักที่ผ่านการทดสอบการย่อยสลายตัวอย่างพลาสติกทดสอบหมายเลข 1-15 ที่มีต่อ *Daphnia magna* ตามมาตรฐาน OECD 202 (OECD 2004) และรายงานผลในรูปของระดับความเข้มข้นของสารทดสอบที่ทำให้ *D. magna* ตายไปครึ่งหนึ่งของจำนวนสัตว์ทดสอบทั้งหมด (50% Effect concentration, EC₅₀) ภายในระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง เทียบกับ Compost.

จากตารางที่ 25 จะเห็นได้ว่า ปุ๋ยหมักที่มีพลาสติกเป็นส่วนผสมมีค่าร้อยละของความเข้มข้นของสารทดสอบที่ทำให้ *D. magna* ตายไปครึ่งหนึ่งของจำนวนสัตว์ทดสอบทั้งหมดภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เทียบกับ Compost น้อยกว่า 100 แสดงว่า การสลายตัวของพลาสติกทำให้ปุ๋ยหมักมีความเป็นพิษเพิ่มขึ้น และเป็นที่น่าสังเกตว่า ผลการเปรียบเทียบที่ 48 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่าที่ 24 ชั่วโมง, ซึ่งบ่งบอกว่า สารที่เกิดจากการสลายตัวมีผลต่อการความเป็นพิษเรื้อรังอีกด้วย.

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลของปุ๋ยหมักที่มีพลาสติกเป็นส่วนผสมต่อความเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อมทั้งพืชและสัตว์ จะเห็นได้ว่า การทำให้ปุ๋ยหมักมีความเข้มข้นลดลงสามารถลดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับวิธีการใช้ปุ๋ยหมักโดยทั่วไป ซึ่งจะต้องนำไปผสมกับดินก่อนใช้ปลูกพืช.

ตารางที่ 25. ความเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นต่อพืชและสัตว์ของตัวอย่างพลาสติกทดสอบหลังฝังกลบ

ตัวรับการทดสอบ	ความเป็นพิษต่อพืชเปรียบเทียบกับ Compost และ Control (ร้อยละ)												ความเป็นพิษต่อ <i>Daphnia</i>	
	การงอกของเมล็ด		การรอดชีวิต		จำนวนวันเฉลี่ยที่งอก		ความสูง		น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		ร้อยละของ EC ₅₀ เทียบกับ Compost	
	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	24 ชม.	48 ชม.
TS1	100.00	100.00	83.33	83.33	91.50	61.00	83.33	44.54	100.84	433.30	80.50	120.75	70.00	77.96
TS2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	66.67	94.89	50.71	86.66	512.80	84.50	126.75	32.38	71.31
TS3	100.00	100.00	60.00	50.00	111.48	80.24	77.01	103.00	70.66	19.74	71.38	230.00	NT ^{1/}	NT
TS4	100.00	100.00	66.67	66.67	125.00	83.33	57.33	30.64	102.56	537.20	98.67	148.00	34.11	70.73
TS5	83.33	83.33	96.00	80.00	145.08	104.42	50.09	67.00	85.45	23.87	101.38	326.67	NT	NT
TS6	100.00	100.00	125.00	100.00	153.15	79.63	101.32	97.26	100.56	153.58	55.25	147.33	NT	NT
TS7	120.00	120.00	125.00	100.00	95.05	49.41	103.51	99.37	143.41	219.03	63.75	170.00	NT	NT
TS8	120.00	120.00	104.16	83.33	107.66	55.97	105.92	101.68	102.06	155.88	53.00	141.33	NT	NT
TS9	120.00	120.00	125.00	100.00	64.86	33.72	114.69	110.11	115.91	177.03	56.25	150.00	NT	NT
TS10	120.00	120.00	125.00	100.00	82.43	42.86	138.82	133.26	108.97	166.42	58.00	154.67	NT	NT
TS11	100.00	100.00	120.00	100.00	72.95	52.51	88.79	118.75	83.26	23.26	89.31	287.78	NT	NT
TS12	100.00	100.00	100.00	100.00	116.50	77.67	79.56	42.52	107.44	306.90	59.17	88.75	36.35	70.73
TS13	100.00	100.00	83.33	83.33	91.50	61.00	87.11	46.56	61.38	296.30	69.50	104.25	37.21	75.87
TS14	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	66.67	111.11	59.38	59.26	319.00	85.83	128.75	56.54	89.79
TS15 หรือ R-	80.00-120.00 ^{2/}	66.67-	0.00-	0.00-83.33	59.02-	35.13-	53.62-	43.01-	0.00-	0.00-	0.00-	0.00-	13.84	8.91
R-		100.00	299.94		150.12	130.00	245.66	123.54	2118.00	504.20	512.59	344.44		

ตารางที่ 25. (ต่อ)

ตัวรับสาร ทดสอบ	ความเป็นพิษต่อพืชเปรียบเทียบกับ Compost และ Control (ร้อยละ)												ความเป็นพิษต่อ Daphnia	
	การงอกของเมล็ด		การรอดชีวิต		จำนวนวันเฉลี่ยที่งอก		ความสูง		น้ำหนักสด		น้ำหนักแห้ง		ร้อยละของ EC ₅₀ เทียบกับ Compost	
	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	Compost	Control	24 ชม.	48 ชม.
TS1(50)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	66.67	117.33	62.71	122.26	709.10	143.17	214.75	NT	NT
TS2(50)	100.00	100.00	100.00	100.00	66.50	44.33	122.22	65.32	141.82	548.20	129.67	194.50	NT	NT
TS3(50)	83.33	83.33	120.00	100.00	122.95	88.50	70.65	94.50	81.35	22.73	86.90	280.00	NT	NT
TS4(50)	100.00	100.00	100.00	100.00	58.50	39.00	129.56	69.24	109.64	752.80	145.00	217.50	NT	NT
TS5(50)	100.00	100.00	100.00	83.33	81.97	59.00	108.97	145.75	95.52	26.68	132.07	425.56	NT	NT
TS6(50)	120.00	120.00	125.00	100.00	87.39	45.43	107.46	103.16	178.37	272.42	99.50	265.33	NT	NT
TS7(50)	120.00	120.00	125.00	100.00	67.57	35.13	102.41	98.32	188.41	287.76	85.00	226.67	NT	NT
TS8(50)	120.00	120.00	125.00	100.00	77.48	40.28	132.68	127.37	166.15	253.76	85.25	227.33	NT	NT
TS9(50)	120.00	120.00	83.34	66.67	97.75	50.82	93.64	89.89	114.84	175.39	61.25	163.33	NT	NT
TS10(50)	120.00	120.00	125.00	100.00	59.91	31.15	135.53	130.11	106.23	162.24	85.75	228.67	NT	NT
TS11(50)	83.33	83.33	120.00	100.00	122.95	88.50	87.29	116.75	104.34	29.15	116.21	374.44	NT	NT
TS12(50)	100.00	100.00	100.00	100.00	75.00	50.00	142.67	76.25	150.56	398.00	104.67	157.00	NT	NT
TS13(50)	100.00	100.00	100.00	100.00	75.00	50.00	124.89	66.75	79.60	665.90	127.50	191.25	NT	NT
TS14(50)	83.33	83.33	100.00	100.00	110.00	73.33	117.78	62.95	133.18	388.90	78.00	117.00	NT	NT
TS15(50)	100.00-120.00	75.00-	75.00-	0.00-	54.51-	31.15-	87.29-	63.30-	32.38-	20.16-	73.25-	165.71-	NT	NT
หรือ R-(50)		120.00	120.00	100.00	100.00	86.60	271.68	146.88	158.74	611.30	1209.63	1209.6		

หมายเหตุ: ¹NT= ไม่ได้ทำการทดสอบ ² ช่วงของค่าที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด EC₅₀ = Effective concentration

3.5 อภิปรายและวิจารณ์

3.5.1 การศึกษาการสลายตัวของพลาสติกทดสอบในระดับแปลงทดลอง

จากผลการทดสอบการสลายตัวของตัวอย่างพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพทั้งหมด (หมายเลข 1-14) โดยการฝังกลบในตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลในเขตพื้นที่ 6 จังหวัดของประเทศ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่, พิษณุโลก, ขอนแก่น, นครปฐม, ชลบุรี และสงขลา, ที่เป็นตัวแทนจากแต่ละภูมิภาคในสภาวะธรรมชาติเป็นระยะเวลา 18 เดือนนั้น, พบว่า อัตราการสลายตัวของตัวอย่างทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย ได้แก่:

1. สมบัติของตัวอย่างพลาสติกทดสอบ ได้แก่ สารตั้งต้น, สารตัวเติม, กระบวนการผลิตตลอดจนรูปแบบของผลิตภัณฑ์, ดังในตัวอย่างพลาสติกทดสอบที่ 5, 6 และ 11, ซึ่งมี PLA เป็นองค์ประกอบ แต่มีอัตราการสลายตัวที่แตกต่างกัน, อาจเนื่องมาจากชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่สลายตัวได้ง่าย เช่น แป้ง, ในขณะที่น้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีของสารตั้งต้น เช่น PLA เป็นปัจจัยที่สำคัญต่ออัตราการเร็วในการสลายตัวด้วย.

2. สมบัติของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-เบส, ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ รวมถึงธาตุอาหารหลัก.

จากผลการทดลองที่พบว่า ดินที่ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ดีที่สุดมีสมบัติที่ส่งเสริมให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น (เช่น ดินจากอำเภอมือง จังหวัดขอนแก่น). ในทางตรงกันข้ามดินที่มีอัตราการย่อยสลายได้ช้า จะมีสมบัติที่แตกต่างจากดินดังกล่าวข้างต้น, โดยเฉพาะค่าความเป็นกรด-เบสที่เป็นกรดรุนแรง ได้แก่ ดินจากจังหวัดนครปฐม. ส่วนสมบัติอื่นๆ ยังไม่มีความชัดเจนว่า เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการย่อยสลายตัวอย่างพลาสติกทดสอบในสภาวะที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้.

3.5.2 การศึกษาการสลายตัวของพลาสติกทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ

จากผลการวิจัยนี้ สามารถพัฒนาวิธีการตรวจสอบการสลายตัวของพลาสติกในเบื้องต้น ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย, ใช้ระยะเวลาสั้น และมีความแม่นยำ. จะเห็นได้จากผลการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในชุด Control R+ และ R- ตลอดระยะเวลาของการตรวจสอบ 1 ปี ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี. แสดงว่า การตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมที่เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วยวิธีนี้มีความน่าเชื่อถือ. อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาปุ๋ยหมักเป็นระยะเวลานานอาจทำให้สมบัติบางประการของปุ๋ยหมักเกิดการเปลี่ยนแปลง. ดังนั้น จึงควรศึกษาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการเก็บปุ๋ยหมักเพื่อการทดสอบต่อไป.

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังสามารถพัฒนาวิธีการตรวจสอบเบื้องต้นถึงระดับความเป็นพิษหลังการทดสอบการสลายตัวของตัวอย่างพลาสติกกับสัตว์และพืชที่ดัดแปลงจากวิธีมาตรฐาน OECD 202 และ 208 ตามลำดับได้.

กล่าวได้ว่า ผลการวิจัยทั้งหมดในระยะเวลา 2 ปีที่ผ่านมา เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดเป็นตัวอย่างที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, แต่ในการย่อยสลายจริงในตัวอย่างดินจากธรรมชาติ อัตราการสลายตัวของแต่ละตัวอย่างทดสอบต่างกันอย่างชัดเจน. เนื่องจาก มีความ

แตกต่างกับสภาวะการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน, ซึ่งตัวอย่างสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ, ดังแสดงในตารางที่ 26.

ตารางที่ 26. ตัวอย่างสภาวะที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพตามมาตรฐานสากล

มาตรฐาน	ASTM D 5338	ISO 14855	ISO 14852	ISO 14851
สภาวะในการทดลอง	- สภาวะควบคุมที่คล้ายคลึงกับสภาวะการหมักปุ๋ยในสภาวะใช้อากาศ		- สภาวะการทดสอบที่มีจุลินทรีย์จากตะกอนเร่ง ปุ๋ย หรือ ดิน	
อุณหภูมิที่ใช้และสภาวะในการทดสอบ	- 58 ± 2 องศาเซลเซียส - ในที่มืด - ปราศจากไอน้ำที่ยับยั้งจุลินทรีย์		- 20 - 25 (± 1) องศาเซลเซียส สำหรับ activated sludge - อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ถ้าเป็น compost - ในที่มืด และปราศจากไอน้ำที่ยับยั้งจุลินทรีย์	

ดังนั้น แผนการดำเนินงานต่อไป จึงจะทำการศึกษาการสลายตัวของผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติและกระบวนการขึ้นรูปแบบเดียวกันในสภาวะการทดสอบที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงลึกในตรวจสอบการสลายตัวได้ของพลาสติกแต่ละประเภท.

4. สรุปผลการทดลอง

1. สภาวะธรรมชาติที่เหมาะสมในการย่อยสลายตัวอย่างพลาสติกชีวภาพหรือพลาสติกย่อยสลายได้ คือ การฝังกลบในดินที่มีความลึก 5-40 เซนติเมตร ซึ่งมีองค์ประกอบ ดังนี้.
 - ค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 7-8.
 - ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ร้อยละ 1-5.
 - ปริมาณธาตุอาหาร (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ร้อยละ 0.1-1.0.
 - ปริมาณจุลินทรีย์ (รา, ยีสต์ และแบคทีเรีย) 10^5 - 10^7 โคโลนีต่อกรัม.
2. ได้วิธีการเบื้องต้นในการตรวจสอบการสลายตัวของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการที่ดัดแปลงมาจากการตรวจวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ด้วยวิธี Static Incubation-Titrimetric Determination .
3. ระยะเวลาในการย่อยสลายที่แตกต่างกันนอกจากจะขึ้นกับสภาพแวดล้อมแล้ว ยังขึ้นกับวัตถุดิบในการผลิต, ขนาดของผลิตภัณฑ์ และลักษณะการนำไปใช้งานด้วย.
4. การย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ สามารถตรวจสอบได้จากสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงไป.
5. ได้วิธีการเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบระดับความเป็นพิษหลังกระบวนการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ โดยใช้พืชทดสอบ หรือ *Daphnia magna*.

ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลงานวิจัยที่ได้

ได้วิธีการเบื้องต้นในการตรวจสอบและประเมินอัตราเร็วในการสลายตัวของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพหลังการใช้งานในสภาวะธรรมชาติได้.

5. ผลการศึกษาเบื้องต้นทางการตลาดและผลกระทบของโครงการ

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่มีการวิจัยและใช้งานอยู่ในขณะนี้ มีสมบัติที่แตกต่างกันทั้งทางกายภาพและทางเคมี, ตลอดจนสมบัติในการถูกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน. อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การพัฒนาการผลิตและการใช้พลาสติกชีวภาพแพร่หลายมากขึ้นและเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับผู้บริโภค อีกทั้งเป็นการรับประกันว่าพลาสติกชีวภาพเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, นั่นคือ ย่อยสลายได้เร็วขึ้นโดยกระบวนการทางชีวภาพเมื่อเทียบกับพลาสติกทางการค้าที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน. ดังนั้น วิธีการตรวจสอบสมบัติการสลายตัวได้ทางชีวภาพในเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถทำได้ในระยะเวลาอันสั้นและมีความน่าเชื่อถือ, ซึ่งเป็นความต้องการของผู้ประกอบการและนักวิจัยในด้านการพัฒนาสูตรการผลิตพลาสติกชีวภาพ.

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบการสลายตัวได้ทางชีวภาพตามมาตรฐาน ISO 17088 นำไปสู่การจัดตั้งห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานสากลต่อไป. นอกจากนี้ ยังเป็นประโยชน์ต่อกลุ่มอุตสาหกรรมและผู้ประกอบการด้านพลาสติกและบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนภาครัฐและเอกชนที่มีความสนใจการทดสอบการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ. วิธีการจัดการกับผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพหลังการใช้งานที่เหมาะสม โดยทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์และไม่เหลือสิ่งตกค้างที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จะเป็นการเพิ่มคุณค่าของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมากขึ้น, ซึ่งผลลัพธ์ในภาพรวมมีส่วนช่วยบรรเทาปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะพลาสติก, เพิ่มความตื่นตัวในการนำมาใช้และการจัดการพลาสติกย่อยสลาย, รวมถึงการยกมาตรฐานผลิตภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้ของไทยด้วย.

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. รายงานหลัก โครงการลดการใช้พลาสติกและโฟม. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 191 หน้า.
- กรมป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้. 2544. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย เต็ม สมิตินันท์ พิมพ์ครั้งที่ 2 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ: บริษัท ประชาชน จำกัด, 810 หน้า.
- ช่วยจุลจิตร, เสาวรจน์. 2543. สมบัติของโพลีเมอร์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. จุลชีวปฏิบัติการ พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เจ้าพระยาระบบการพิมพ์, หน้า 28 -43.
- ลีจากภัย, ธนาวดี. 2549. พลาสติกย่อยสลายได้เพื่อสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 138 หน้า.
- ศุภผล, พิชญ์. 2540. พลาสติกสลายตัวได้โดยธรรมชาติ. *เทคโนโลยีวัสดุ*. หน้า 72-77.
- ศิริคันสนียกุล, สาโรจน์. 2547. เทคโนโลยีชีวภาพอาหาร การหมัก และสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 326 หน้า.
- สุขศรีงาม, บัญญัติ. 2534. จุลชีววิทยาทั่วไป พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : โอ. เอส.พรี้นติ้ง เฮาส์, หน้า 330-331.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2552. พลาสติกชีวภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.nrct.go.th/2008/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=2901&mode=thread&order=0&thold=0>, [เข้าถึงเมื่อ : 10 มกราคม 2552].
- สรวารี่, อรุษา. 2546. สารเติมแต่งพอลิเมอร์. เล่ม 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Abou-Zeid, D. M., Müller, R. J. and Deckwer, W. D., 2001. Degradation of natural and synthetic polyesters under anerobic conditions, *J. Biotechno*, **86**, pp. 113-126.
- American Society for Testing of Materials. 1996. ASTM D 5512-96, Standard Practice for Exposing Plastics to a Simulated Compost Environment Using and Externally Heated Reactor, West Conshohocken, PA : ASTM.
- American Society for Testing of Materials. 1994. ASTM D 5525-94a, Standard Practice for Exposing Plastics to a Simulated Active Landfill Environment, West Conshohocken, PA : ASTM.
- American Society for Testing of Materials. 2003. ASTM D5338-98. 2003. Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions, West Conshohocken, PA : ASTM.
- American Society for Testing of Materials. 1999. ASTM D 6400-99, Standard Specification for Compostable Plastics West Conshohocken, PA : ASTM.

- American Society for Testing of Materials., (ASTM). 2003. Designation : D 5338 – 98 (reapproves 2003) Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting condition. PA:ASTM, pp. 115 -120.
- Bio-Plast. 2553. [online]. Available at: [http:// internet.dip.go.th/ boc/ Example%20 Business-Plan/ 010%20Destroy%20 Plastic.pdf](http://internet.dip.go.th/boc/Example%20Business-Plan/010%20Destroy%20Plastic.pdf), [Accessed 3 May 2553].
- Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen. p. 1149-1178. *In* C.A. Black *et al.* ed. Method of Soil Analysis. Part 2. Agron Monogr. 9. ASA, Medison, WI.
- Chuayjujitt, S., Pimpan, V., Saebae, P., Thitsatarn, R., Surachakasem, R., 2003. Synthesis of waterborne polyurethane coating using a surfactant derived from recycling of waste PET bottles. *Journal of Scientific Research of Chulalongkorn University*, **28**, pp. 39-50.
- Draft document. 2003. OECD guideline for the testing of chemicals proposal for updating guideline 208 Terrestrial Plant Test: 208: Seedling Emergence and Seedling Growth Test, pp. 1- 19.
- Doi, Y., 1990. Microbial polyester, New York : VCH Publishers.
- Fujita, M., 1999. Introduction to Bioremediation. Training Course of NEDO Program on Industry and Environmental Protection for Thailand (NETH: Bioremediation).
- Gee, G. W. and Bauder, J. W., 1986. Particle-size analysis. *In* A. Klute ed. Methods of soil analysis. Part 1, 2nd ed. Agron Monogr. 9. ASA and SSSA, Medison, WI, pp.383-1-411.
- Gupta, B., Revagade, N. and Hilborn, J., 2007. Poly (lactic acid) fiber: an overview. *Prog. Polym. Sci.*, **32**, pp. 455-482.
- Imam, S.H., Gordon, S. H., Shogren, R. L. and Tosteson, T.R., 1999. Degradation of Starch-Poly (β -Hydroxybutyrate-Co- β -Hydroxyvalerate) Bioplastic in Tropical Coastal Waters. *Applied and Environment Microbiology*, **65** (2), pp. 431-437.
- International Organization for Standardization. 1999. ISO 14852 :1999, Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium- Method by analysis of evolved carbon dioxide, Geneva: ISO Copyright.
- Jasso, C. F., Gonzalez-Ortiz, L. J., Contreras, J. R. and Mendizabal, M. E., 1998. The Degradation of High Impact Polysterene with and without Starch in Concentrated Activated Sludge. *Polymer Engineering and Science*, **38**(5), pp. 863-869.
- Kang, B. G., Yoon, S. H., Lee, S. H., Yie, J. E., Yoon, B. S., and Suh, M. H., 1996. Studies on the Physical Properties of Modified Starch-Filled HDPE Film. *Journal of Applied Polymer Science*, **60**, pp. 1977-1984.
- Khanna, S. and Srivastava, A. K., 2005. Recent advances microbial polyhydroxyalkanoates. *Biochem*, pp. 607-610.

- Krzan, A., Hemjinda, S., Miertus, S., Corti, A., and Chiellini, E., 2006. Standardization and certification in the area of environmentally degradable plastic. *Polymer Degradation and Stability*, **91**, pp. 2819-2833.
- Majumdar, S. and Adhikari, B., 2005. Polyvinyl alcohol-cellulose composite: a taste sensing material. *Bulletin of Materials Science*, **28**, pp. 703-712.
- McNeill, I. C., Ahmed, S. and Memetea, L., 1995. Thermal degradation of vinyl acetate-methacrylic acid copolymer and homopolymers. I. and FTIR spectroscopic investigation of structural changes in the degrading materials. *Polymer Degradation and Stability*, **47**, pp. 423-433.
- Nolan-ITU. 2002. Biodegradable Plastics – Developments and Environmental Impacts. Melbourne: NOLAN-ITU Pty Ltd. 52 p.
- Organization for Economic Cooperation and Development. 2004. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. 2004. “202 : *Daphnia* sp., Acute Immobilisation Test”. Paris: OECD.
- Organization for Economic Cooperation and Development. 2006. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. 2006. “208 : Terrestrial Plant Test, Seedling Emergence and Seedling Growth Test”. Paris: OECD.
- Orhan, Y. and Buyukgungor, H., 2000. Enhancement of biodegradability of disposable polyethylene in controlled biological soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, **45**, pp. 49-55.
- Sridewi, N., Bhubalan, K. and Sudesh, K., 2006. Degradation of commercially important polyhydroxyalkanoates in tropical mangrove ecosystem. *Polymer Degradation and Stability*, **91**, pp. 2931-2940.
- Van Veen, J.A., Van Overbeek, L.S. and Van Elsas, J.D., 1997. Fate and activity of microorganisms introduced in soil. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, **61**, pp. 121-135.
- Walkley, A., 1947. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents, *Soil Science*, **63**, pp. 251-263.
- Yagi, H., Ninomiya, F., Funabashi, M., and Kunioka, M., 2009. Anaerobic Biodegradation Tests of Poly (lactic acid) under Mesophilic and Thermophilic Conditions Using a New Evaluation System for Methane Fermentation in Anaerobic Sludge. *Int. J. Mol. Sci.*, **10**(9), pp. 3824-3835.
- Zibilske, L. M., 1994. Carbon mineralization. In R.W. Wever *et al.* ed. Method of soil analysis. Part 2, Microbiological and biochemical properties. Soil Science Society of America book series No.5. Washington DC: Soil Science Society of America Inc., pp. 835-864.

ภาคผนวก



รูปที่ 16. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น.



รูปที่ 17. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองพัทยา จังหวัดชลบุรี.



รูปที่ 18. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม.



รูปที่ 19. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของตำบลแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่.



รูปที่ 20. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.



รูปที่ 21. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาลเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา.



รูปที่ 22. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของเทศบาล อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก.



รูปที่ 23. การเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ฝังกลบขยะของ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก.